PHYSIKALISCHES WÖRTERBUCH, NEU BEARBEITET...

Johann Samuel Traugott Gehler

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Dritter Band.

E.

Mit Kupfertafeln I bis XVI.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1827.

1937

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Dritter Band.

E.

Mit Kupfertafeln I bis XVI.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1827.

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches

Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Dritter Band.

E.

Mit Kupfertafeln I bis XVI.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1827.

Physikalisches Wörterbuch

III. Band.

E.

E.

Ebbe und Fluth.

Fluxus et refluxus maris; le flux et le reflux de la mer; *ebb and flow, tides;* heifst das abwechselnde, alle Tage zweimal regelmäfsig wiederkehrende Sinken und Steigen des Wassers in den grofsen Meeren. Die Namen *aestus maris,* les marées, *the tides* bezeichnen dieses ganze Phänomen, statt dafs Fluth (*accessus maris,* le flux, *flow or flux*) das Steigen des Wassers, Ebbe (*recessus maris,* le reflux, *ebb or reflux*) das darauf folgende Sinken des Wassers bezeichnet. Wenn die Fluth ihr Ende erreicht hat, so ist es *volle Fluth, hohes Wasser* (haute mer, *high water*), und sobald das Wasser zu fallen anfängt, ist es Ebbe, die sich endigt, wenn das Wasser am niedrigsten steht, die *tiefste Ebbe, das niedrigste Wasser* (la basse mer, *low water*), eingetreten ist.

Genauere Beschreibung der Erscheinungen.

1. Wenn man sich am Meeres-Ufer befindet und die Beobachtung gerade um die Zeit anfängt, wo es volle Fluth ist, so bemerkt man eine kurze Zeit keine Aenderung des Wasserstandes. Aber dieser völlige Ruhestand ist nur von sehr kurzer Dauer, und bald bemerkt man, dafs das Wasser ein wenig sinkt, dafs die Wellen da, wo sie an einem flach sich erhebenden Ufer herauf laufen, nicht ganz mehr den Punct erreichen, bis zu welchem sie so eben noch gelangten, und dafs Gegenstände, die im tiefen Wasser stehen, nach und nach höher aus dem Wasser hervorragen. Dieses zuerst unbedeutende und langsame Sinken des Wassers wird allmählig schneller, so dafs etwa 3 Stunden nach dem höchsten Wasser das Fallen am schnellsten

ist; nachher vermindert sich die Schnelligkeit des Sinkens, und nachdem die Ebbe reichlich 6 Stunden gedauert hat, hört das, nach und nach unmerklich werdende, Sinken des Wassers ganz auf. Unterdeſs sind überall die zuerst nicht sehr tief mit Wasser bedeckten Gegenden ganz vom Wasser entblöſst worden, so daſs, zum Beispiel am deutschen Ufer der Nordsee, Pfäle, die bei hohem Wasser nur wenig aus dem Wasser hervorragten, nun 12 Fuſs und darüber oberhalb desselben sichtbar sind; daſs flache Sände, über welchen man vorhin ansehnliche Schiffe mit vollen Segeln sich fortbewegen sah, nun trocken da liegen, und einen für Wagen und Fuſsgänger brauchbaren Raum darbieten. Aber nur wenige Minuten dauert diese tiefste Ebbe; die Fluth kehrt wieder und ihr allmählig schnelleres und nachher wieder minderes Steigen befolgt ungefähr eben die Gesetze, die wir vorhin beim Sinken bemerkten; die vom Wasser entblöſsten Gegenstände werden wieder davon überströmt, und nach einer Zeit von etwas mehr als 12 Stunden hat sich der Zustand, den wir zu Anfange beobachteten, wieder hergestellt, und dem nun wieder eingetretenen höchsten Wasser folgen dieselben Erscheinungen in unaufhörlich wechselnder regelmäſsiger Folge.

Die *Tiefe*, bis zu welcher das Wasser, von seinem höchsten Stande an, fällt, ist nicht an allen Orten, auch nicht an jedem Tage für denselben Ort gleich. An den Nordsee-Ufern Deutschlands beträgt der Unterschied der gewöhnlichen Ebbe und Fluth 12 Fuſs in andern Gegenden ist er geringer, in andern auch gröſser und zum Beispiel am westlichen Ende des Canals beträgt die gesammte Fluthhöhe gegen 40 Fuſs, statt daſs sie auf den Südsee-Inseln kaum einige Fuſse steigt.

2. Die *Wechsel* der Fluth und Ebbe kehren täglich zweimal regelmäſsig wieder; aber nicht genau zu derselben Stunde, sondern so, daſs die volle Fluth an jedem folgenden Tage etwa um 50 Minuten später erfolgt, und alle andern Erscheinungen sich eben so verspäten; erst nach 14 Tagen kommt die Fluth wieder auf dieselbe Tagesstunde zurück, und man bemerkt, daſs sehr genau die Zeit der Fluth am Tage des Neumondes und Vollmondes dieselbe ist, und also die Zeit ihres Eintretens mit der Stellung des Mondes zusammenhängt. Diese Bemerkung läſst sich selbst von einem Tage zum andern machen, da auch der Durchgang des Mondes durch den Meridian sich täglich um etwa 50 Minuten verspätet, und daher mit dem Erscheinen des

Mondes im Meridian sehr nahe alle Tage eben der Zustand des Steigens oder Sinkens zusammentrifft.

Die *Periode zweier ganzer Fluthzeiten* ist also sehr nahe gleich der Zeit, die von einem Durchgange des Mondes durch den Meridian bis zum nächsten Durchgange verfliefst; indefs trifft nicht an allen Orten der Durchgang des Mondes mit dem höchsten Wasser oder nicht überall mit demselben Zustande des Steigens und Fallens zusammen; und diese Verschiedenheit scheint von den Hindernissen herzurühren, die sich der allmähligen Fortpflanzung der Fluth entgegenstellen. Am deutlichsten zeigt sich dieses in den Strömen. —

3. Was nämlich auch die Ursache der Fluth seyn mag, so erhellet doch sehr deutlich, dafs sie in den grofsen Meeren ihren eigentlichen Sitz hat, und dafs in den Strömen nur darum Fluth entsteht, weil das im Meere höher gestiegene Wasser sich entweder selbst in die Ströme hinein ergiefst, oder wenigstens das Wasser des Stromes hindert, sich ins Meer zu ergiefsen, und es daher aufstauet. Da dieses Einströmen an der Mündung anfängt, so tritt daselbst die Fluth am frühsten ein und immer später, je höher man im Strome hinaufgeht; ja es kommt oft der Fall vor, dafs diese Fluthwelle sich noch den Strom hinauf fortwälzt, wenn an der Mündung schon wieder tiefe Ebbe ist. Auf ähnliche Weise verzögert sich auch in den einzelnen Theilen der Meere die Fluth, und wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn der Mond, nach dessen Stellung doch die Fluth sich zu richten scheint, nicht an allen Orten bei seiner höchsten Stellung einen gleichen Zustand des Steigens oder Fallens bewirkt.

4. Die *Fluthhöhe* ist an demselben Orten nicht an allen Tagen gleich, sondern man bemerkt, dafs überall die Tage um den Neumond und Vollmond bedeutend höhere Fluthen haben, und dafs an eben den Tagen die Ebbe tiefer als gewöhnlich sinkt, so dafs die gesammte Fluthhöhe an diesen Tagen viel gröfser als sonst ist. Diese, allen Küstenbewohnern bekannten, höhern Fluthen heifsen *Springfluthen* (vives eaux; *spring tides*). Dagegen bemerkt man um die Zeit der Mondsviertel, dafs die Fluth weniger als sonst steigt und die Ebbe weniger sinkt, welches man an den Ufern der Nordsee, *Nippfluthen* oder *taube Fluth* (mortes eaux; *neaptides*) nennt. Da beim Neumonde der Mond nahe bei der Sonne steht, so ist es eine sehr natürliche Vermuthung, dafs die höhere Fluth durch die vereinte Wirkung

von Sonne und Mond ebenso entstehen mag, wie die gewöhnliche Fluth durch den Mond allein oder vorzüglich hervorgebracht wird. Daſs auch beim Vollmonde die Fluth höher ist, muſs offenbar aus eben den Gründen erklärt werden, von welchem die zweite Fluth, da der Mond unter dem Horizonte ist, abhängt.

5. Endlich bemerkt man noch eine Ungleichheit in den Fluthen, je nachdem der Mond in seiner Erdnähe oder Erdferne ist, indem bei sonst gleichen Umständen die Fluthen zur Zeit der Erdnähe höher sind, bei der Erdferne geringer. Aus diesem Grunde sind die Springfluthen am höchsten, wenn Neumond und Erdnähe des Mondes oder Vollmond und Erdnähe des Mondes zusammentreffen, und die Nippfluthen sind am geringsten, wenn das Mondesviertel mit der Erdferne zusammen trifft.

6. Diese Erscheinungen, über deren genauere Umstände im Einzelnen vieljährige und genaue Beobachtungen noch mehrere Bestimmungen ergeben, sind hier so beschrieben, wie sie bei stillem Wetter eintreten und wie sie sich als der allgemeine Gang der Erscheinungen dem ungelehrten aber aufmerksamen Beobachter zeigen. Stürme bringen so groſse Verschiedenheiten hervor, daſs durch sie die Fluthen hoch und gefährlich werden können, selbst wenn sie nach den übrigen Umständen unbedeutend seyn sollten, wie wir in der Folge sehen werden.

Auch für das Steigen und Sinken jeder einzelnen Fluth läſst sich, obgleich auch da Winde und zufällige Umstände Aenderungen hervorbringen, eine Regel angeben, die für das offene Meer sehr nahe richtig ist. Laplace[1] drückt sie so aus: Wir wollen uns einen verticalen Kreis denken, dessen Umfang so in Stunden und Minuten getheilt ist, daſs der ganze Umfang die Zeit einer ganzen Fluth und Ebbe darstelle; hat dann der Durchmesser die Gröſse der ganzen Fluthhöhe, und zählt man die Theile des Umfangs vom tiefsten Puncte an, so schneidet jede durch einen Theilungspunct des Umfangs gezogne horizontale Linie auf dem Vertical-Durchmesser die Höhe ab, bis zu welcher das Wasser gestiegen ist, wenn die bis zu jenem Umfangspuncte gezählten Stunden und Minuten seit der tiefsten Ebbe verflossen sind. Nach diesem Gesetze, wo die Höhen sich wie die Sinus vers. der Zeiten verhalten, würde also, wenn man die ganze Zeit des Wachsens auf 6 Stunden 12 Minuten

1 Exposit. du syst. du monde. Livre. 4. chap. 10.

= 372 Min. setzt, und die gesammte Fluthhöhe = 12 Fuſs, zu jeder Zeit = t, die seit dem tiefsten Wasser verflossen ist, die Höhe = 6 Sin. vers. $\frac{t.\ 180^\circ}{372}$ seyn, also zum Beispiel für die ersten 31 Minuten, die Höhe sich um 0,2 Fuſs, dagegen in der Mitte zwischen dem höchsten und tiefsten Wasser etwa 1,6 Fuſs in eben der Zeit ändern. Aber auch dieses Gesetz gilt nicht ganz gleichförmig für alle Orte, und man bemerkt zum Beispiel zu Anfang der Ebbe am Ufer noch kaum ein Sinken des Wassers, wenn es im Freien schon ziemlich erheblich gesunken ist. Damit hängt auch der Wechsel des *Fluth* – und *Ebbestromes* zusammen, den man vorzüglich in den Mündungen der Flüsse bemerkt; der Wechsel dieses Stromes tritt später ein als der Wechsel des Steigens und Fallens; denn erst, wenn das Wasser vor der Mündung bedeutend gestiegen ist, kann es den Ebbestrom überwältigen und in Fluthstrom verwandeln, und so umgekehrt. Nach Woltmann's Bemerkung kann jener Unterschied über 1 Stunde betragen [1].

7. Endlich gehört hieher noch die Bemerkung, daſs nur in groſsen Meeren die Fluth statt findet, daſs sie in den kleinern nur durch ihre Verbindung mit jenen hervorgebracht wird, und daſs es in ganz oder beinahe ganz von Land umgebenen kleinern Meeren, wie das caspische Meer und die Ostsee, gar keine Fluth und Ebbe giebt.

In die Nordsee tritt sie theils vom nördlichen Schottland her, theils durch den Canal ein, und eben die Fluth, welche um 12 Uhr in Buchanneſs (an der nordöstlichen Seite Schottlands) hohes Wasser macht, bringt vor dem Humber 6 Stunden später, bei Yarmouth 9½ Stunde später, vor der Themse und so auch an den holländischen und deutschen Küsten 12 Stunden später Hochwasser; an den letzteren Orten vereinigt sich damit die durch den Canal kommende Fluth, die (wenn man eben die Tage nimmt) bei Brest um 3¼ Uhr, bei Havre um 9 Uhr, bei Ostende um 12 Uhr höchstes Wasser macht, und hier mit jener zusammen trifft [2].

Bei diesem Fortrücken der Fluth muſs ich doch noch bemerken, daſs man Unrecht haben würde, wenn man sich die

---

1 Handbuch der Schifffahrtskunde, zum Gebrauch für Navigationsschulen etc. Hamburg. 1819. S. 376.

2 Woltmann am ang. O. S. 378.

Fluth als einen mit grofser Schnelligkeit fortgehenden Strom denken, oder gar glauben wollte, das Seewasser müsse in nicht völlig 25 Stunden einen Umlauf um die ganze Erde machen. So wenig bei der Wellenbewegung die Wassertheilchen so schnell fortgeführt werden, als die Wellenköpfe anscheinend fortlaufen, eben so wenig darf man annehmen, dafs dieselben Wassertheilchen die Fluthwelle begleiten. Auf einer ganz mit Wasser bedeckten Erde würde die Fortbewegung seitwärts bei den bald gehobenen, bald sinkenden Wassertheilchen ganz unbedeutend seyn; bei der wirklichen Beschaffenheit der Meere findet dagegen allerdings an vielen Orten ein merklicher Fluth- und Ebbestrom statt, so wie er offenbar beim Einsturz in die Ströme statt finden mufs.

Meinungen über die Ursache der Ebbe und Fluth.

8. Die Griechen und Römer hatten an der Küste des Mittelländischen Meeres wenig Gelegenheit die Erscheinungen der Fluth in ihrem ganzen Umfange kennen zu lernen, doch erwähnt schon Herodot die Fluth im rothen Meere. Es ist daher wohl ganz dem Mangel an Kunde von diesen Erscheinungen angemessen, was Curtius von der Ueberraschung und Verlegenheit erzählt, in welche Alexander, als er in das Indische Meer schiffen wollte, sich durch den unerwarteten und starken Wechsel von Fluth und Ebbe gestürzt fand[1].

Selbst Caesar war noch von den Ungleichheiten der Fluth und Ebbe nicht hinreichend unterrichtet, und erlitt daher einen bedeutenden Verlust, als die Vollmondsfluthen, deren höheres Steigen ihm unbekannt war, seine aufs Trockne gezognen Schiffe am Ufer Britanniens erreichten und beschädigten[2]. Dagegen spricht Tacitus schon von den gewöhnlich höher anschwellenden Aequinoctialfluthen als von etwas Bekanntem[3].

Am besten unter den alten Schriftstellern scheint Strabo die Erscheinungen der Ebbe und Fluth dargestellt zu haben, welcher sie so beschreibt, wie sie nach Posidonius Erzählung in Cadix beobachtet werden. Hier[4] werden die täglich

1 Curtius de rebus gestis Alex. IX. 9.
2 De bello Gall. IV. 29.
3 Annal. I. 70.
4 Strabonis res geographicae Lib. III. gegen das Ende.

zweimal eintretenden Fluthen und die höheren Neumonds- und Vollmondsfluthen ganz richtig erwähnt, die Zeit der Fluth in Cadix angegeben u. s. w. POSIDONIUS irrte nur darin, daſs er nach der Erzählung der Einwohner die Solstitialfluthen für höher als die Aequinoctialfluthen hielt. PLINIUS erzählt auch Mehreres die Fluth betreffendes ganz richtig [1], und bemerkt einige von PYTHEAS schon gemachte Beobachtungen [2]. SENECA [3] und MACROBIUS [4] sind in Beziehung auf dieses Phänomen sehr dürftig.

Was die Alten zur Erklärung der Erscheinung sagen, ist meistens unbedeutend. Nach dem, was sich in einem dem PLUTARCH zugeschriebenen Buche findet, soll PYTHEAS gesagt haben, das Meer fluthe bei zunehmendem Monde und falle bei abnehmendem Monde [5]. ARISTOTELES bemerkt, daſs sich die Fluth nach dem Monde richte. PLINIUS sieht Sonne und Mond als die Ursache der Fluth und Ebbe an und sagt, das Wasser bewege sich, dem Gestirne, welches das Meer an sich ziehe, Folge leistend. POSIDONIUS hatte sehr richtig gesagt, das Meer zeige drei den himmlischen Bewegungen ähnliche Perioden, nämlich eine tägliche, eine monatliche und eine jährliche, indem die Fluthen zweimal täglich, stärkere Fluthen zweimal monatlich und auch bei den Solstitien jährlich stärkere Fluthen wiederkehrten; STRABO scheint aber nicht ganz in diese Meinung einzustimmen.

9. Etwas tiefer eindringende Erklärungen suchten die spätern Naturforscher zu geben, als nach dem Wiederaufleben der Wissenschaften, auch die Naturkunde mit mehr Fleiſs betrieben wurde. GALILAEI [6] glaubte, die tägliche und jährliche Bewegung der Erde sey Ursache der Ebbe und Fluth. Er glaubt, da die wahre Bewegung eines Theilchens an der Erdoberfläche bei Tage etwas langsamer, bei Nacht etwas schneller

---

1 Hist. natural. II. 97.

2 Aber weder bei ihm, noch sonst wo kann ich finden, was in Robison system of mechan. philos. III. p. 307. behauptet wird, daſs PYTHEAS schon fast alle bis auf NEWTON's Zeiten bekannte Erscheinungen richtig angegeben habe.

3 Quaest. natural. III. 28.

4 Somnium Scip. I. 6.

5 Placita philosoph. III. 17. ARISTOTELES de mundo. 4. STRABONIS geogr. III. 3.

6 Dialogus de syst. mundi. Aug. Treboc. 1635. p. 424.

sey, so müsse das Wasser in den grofsen Meeren bei Nacht etwas hinter den Ufern zurückbleiben, und sich an den westlichen Küsten erhöhen, bei Tage etwas voreilen und an den östlichen Küsten steigen. Da sich daraus die zweimal in 24 Stunden entstehende Fluth nicht erklären läfst, so nimmt er noch andere Voraussetzungen zu Hülfe, die ich hier nicht umständlich erwähnen will.

Cartesius[1] erklärte auch die Ebbe und Fluth so wie die Bewegungen der Planeten aus Wirbeln. Da nach seiner Meinung der Mond sowohl als die Erde mit einem Wirbel umgeben seyn sollte, so kämen diese beiden Wirbel da, wo sie zwischen Erde und Mond durchgehen sollten, ins Gedränge und brächten einen Druck hervor, welchem das Meer ausweichen müfste. Indem so in der Mitte des Meeres das Wasser weggedrängt würde, müsse es, glaubte er, gegen die Ufer steigen und hier Fluth bewirken. — Gegen diese Hypothese spricht ganz entscheidend die Erfahrung, dafs gar nicht blofs am Ufer, sondern eben so gut in der Mitte der grofsen Meere zu der Zeit, wo der Mond ihnen ungefähr im Zenith steht, ein Höhersteigen beobachtet wird; — und es ist daher kaum nöthig zu bemerken, dafs auch die zweite Fluth, während der Mond unter dem Horizont ist, sich nicht so erklären läfst.

Wallis[2] versuchte eine Erklärung, die sich an die von Galilaei anschliefst, aber den Umstand als besonders wichtig darstellt, dafs es nicht eigentlich der Mittelpunct der Erde, sondern der gemeinschaftliche Schwerpunct des Mondes und der Erde ist, welcher einen regelmäfsigen Kreislauf um die Sonne macht. Wenn man hierauf Rücksicht nehme, bemerkt er, so sey der Mittelpunct der Erde bald innerhalb, bald aufserhalb der Bahn, welche jener Schwerpunct durchläuft, und daraus müfsten solche wechselnde Bewegungen des Wassers entstehen.

10. Wichtiger und der richtigen Erklärung näher, oder diese vielmehr schon, wenn gleich unentwickelt, andeutend, sind Kepler's Aeufserungen über die Ebbe und Fluth[3]. Er legte den Weltkörpern eine gegenseitige Anziehung bei, und

---

1 Principia philos. Pars 4. Propos. 49.

2 Wallisii opera Tom. II. p. 737.

3 Astronomia nova trad. Comment. de motu stellae Martis. praefatio.

sagte, daſs Mond und Erde, wenn sie nicht in Bewegung wären, gegen einander fallen und sich endlich begegnen würden. Die Ebbe und Fluth sah er als einen Beweis an, daſs der Wirkungskreis der ziehenden Kraft des Mondes (virtus tractoria) sich bis zur Erde erstrecke.

Galilaei kannte diese Meinung Kepler's [1], die er an einer andern Stelle als von einem Antistite quodam aufgestellt erwähnt, und setzt ihr einzig das entgegen, daſs doch der Mond täglich über das Mittelländische Meer hingehe, und gleichwohl nur an dem äuſsersten östlichen Ende desselben und in Venedig eine Fluth hervorbringe.

11. Viel tiefer eindringend, als diese immer doch nur oberflächlichen Behauptungen, ist Newton's Untersuchung der Kräfte, welche die Ebbe und Fluth hervorbringen. Da seine Forschungen vollständig dargethan hatten, daſs die Bewegungen der Planeten von anziehenden Kräften abhängen, so entstand in seinem System die nothwendige Frage, welchen Einfluſs solche anziehende Kräfte, deren Daseyn nicht mehr bezweifelt werden konnte, auf die die Erde bedeckenden Gewässer haben müſsten, und da das Gesetz, wie diese anziehenden Kräfte wirkten, bekannt war, so lieſs sich der Erfolg, den ihre Wirkung haben müsse, einer genauern Berechnung unterwerfen.

Newton selbst hat diesen Gegenstand kurz abgehandelt [2], und nur die Resultate mitgetheilt, so daſs selbt der scharfsinnige Daniel Bernoulli bemerkt, er habe den eigentlichen Ursprung mancher Theoreme erst eingesehen, als seine eigene, eigenthümlich geführte Untersuchung ihn auf eben die Theoreme leitete.

Newton stellte zuerst die Untersuchung an, wie das Wasser in einem rund um die Erde gehenden Canale in seiner Bewegung beschleunigt oder verzögert wird, je nachdem es mit dem anziehenden Körper in Conjunction und Opposition kommt, oder 90 Grade von dem anziehenden Gestirne entfernt ist. Er berechnet nachher die anziehenden Kräfte der Sonne und des Mondes aus den Beobachtungen der Fluth unter der Voraus-

---

1 Dialogus de system. mundi. Augustae Treboc. 1635. p. 456. 412.

2 Principia phil. nat. Lib. 1. propos. 66. coroll. 19. 20. und Lib. III. pr. 24. 36. 37.

setzung, daſs ihre Wirkungen sich bei den Syzygien in eine Summe vereinigen, statt daſs die Fluthen bei den Quadraturen uns ihre Differenz angeben.

NEWTONS Theorie wurde[1] weiter ausgeführt von DAN. BERNOULLI, MACLAURIN und L. EULER, welche alle die Frage zu beantworten suchten, welche Gestalt die mit Wasser bedeckte Erde annehmen würde, wenn das Wasser unter der Einwirkung anziehender Gestirne zum Gleichgewicht käme.

BERNOULLI geht bei diesen Rechnungen sehr ins Einzelne, indem er die Fluthzeit und die Fluthhöhe für die verschiedenen Stellungen des Mondes und der Sonne berechnet; er sucht das Verhältniſs der anziehenden Kräfte beider Weltkörper aus den ungleichen Zwischenzeiten der zwei einander folgenden Fluthen, die sich nämlich bei den Syzygien schneller als bei den Quadraturen des Mondes folgen.

MACLAURIN's Entwickelung der Theorie der Ebbe und Fluth zeichnet sich durch eine elegante synthetische Darstellung aus.

EULER, obgleich er mit einiger Härte die attractio quorundam Anglorum als eine qualitas occulta verachtet, und lieber Wirbel annehmen will, berechnet doch die Wirkung der virium solis et lunae ad mare movendum ganz genau nach NEWTON's Grundsätzen. EULER findet für die Höhen der Fluth, wie sie der Stärke der Anziehungskraft gemäſs seyn sollten, andre Resultate als NEWTON und tadelt dessen Methode als irrig, aber LAPLACE zeigt[2] den Grund dieser Verschiedenheit, und bemerkt, daſs EULER vielmehr den in NEWTON's Methode liegenden Scharfsinn nicht recht erkannt habe, indem dieser zugleich auf die gegenseitige Attraction der Wassertheilchen Rücksicht nimmt, die EULER ganz unbeachtet läſst. Auch er sucht die Gestalt, welche das Meer im Zustande des Gleichgewichts unter der Einwirkung eines anziehenden Körpers annehmen würde, — eine Untersuchung, deren Hauptmomente ich nachher mittheilen werde.

---

1 In den Pièces, qui ont remporté le prix proposé par l'acad. des sciences pour 1740, wo auch die oben erwähnte Bemerkung BERNOULLI's p. 56. vorkommt. Auch in NEWTONS Phil. Nat. Princ. math. ed. le Seur und Jacquier. 1750. T. IV.

2 Mécan. cél. Tome V. 152.

Laplace ist der erste, der die Untersuchung mit Glück weiter fortzuführen versucht hat[1], indem er nach den Gesezzen der Hydrodynamik die *Oscillationen des Meeres* zu bestimmen suchte. Da ich von seinen Betrachtungen nachher einen kurzen Abriſs geben werde, so bemerke ich hier nur, daſs er (zwar unter gewissen beschränkenden Voraussetzungen) dennoch sehr allgemeine Formeln für die verschiedenen Oscillationen des Meeres findet. Die Formeln ergeben drei Arten von Oscillationen. Die eine hängt bloſs von der Breite des Beobachtungs-Ortes und von der Declination des Gestirns ab, und sie giebt daher das an, was wir in den Beobachtungen als Verschiedenheit der Fluthen, wenn das Gestirn im Aequator steht oder wenn es erheblich davon entfernt ist, bemerken. Die zweite Art von Oscillationen hat eine Periode gleich der ganzen Zwischenzeit zwischen zwei Durchgängen des Gestirns durch den obern Meridian, und sie drückt daher die Ungleichheit der Fluthen aus, wobei das anziehende Gestirn über oder unter dem Horizonte steht. Laplace zeigt, daſs die nahe Gleichheit dieser beiden Fluthen auf eine in Vergleichung gegen die Gröſse der ganzen Erde geringe Ungleichheit der Tiefe des Meeres hindeute, oder eigentlich, daſs sie anzeigt, man dürfe keine erhebliche, von *der geographischen Breite abhängende* Ungleichheit der Tiefen annehmen. Die dritte Oscillation hat eine halb so lange Periode als die vorige und stellt die täglich zweimal wiederkehrende Fluth dar. Ich brauche wohl kaum zu erwähnen, daſs die Springfluthen durch das Zusammentreffen der durch Sonne und Mond bewirkten Oscillationen der dritten Art hervorgebracht werden. Laplace's Darstellung wird vorzüglich dadurch schwierig, daſs er, wie es allerdings zu einer genauen Entwickelung erforderlich war, auf die Attraction der Wasserschicht selbst Rücksicht nimmt; ich werde daher im Folgenden versuchen, mit Beiseitsetzung dieser Rücksicht, wenigstens einen Begriff von den Rechnungen zu geben, die Laplace in Beziehung auf dieses Phänomen angestellt hat. Laplace hat diese schon vor 50 Jahren von ihm unternommenen Untersuchungen mit oft wiederholter Anstrengung weiter fortgeführt, und noch kürzlich aufs Neue eine Vergleichung der seit vielen Jahren in Brest angestellten Beobach-

---

1 Mécan. céleste. Livre IV. et XIII.

tungen mit den Resultaten der Theorie bekannt gemacht, die ich nachher mittheilen werde.

Um diesen Gegenstand hier mit möglichster Klarheit und den Bedürfnissen der verschiedenen Classen von Lesern entsprechend abzuhandeln, werde ich zuerst eine populäre Darstellung der Theorie der Ebbe und Fluth geben, dann die Untersuchungen, welche Form das Meer beim Gleichgewichte annehmen würde, mittheilen, und endlich zeigen, wie Laplace bei seinen Untersuchungen verfahren ist, und wie man seine, durch ihre Vollständigkeit und durch Berücksichtigung aller Umstände weitläuftigen Untersuchungen ziemlich kurz, ihren Hauptmomenten nach, angeben kann.

Da ich hoffe, dafs diese Darstellung hinreichen wird, um Newton's Ansicht als die richtige zu rechtfertigen, so habe ich dann wohl nicht nöthig, die von Klöden, Parrot u. a. gemachten Einwürfe, die nicht die Sache, sondern vielmehr die mifslungenen Erläuterungen mancher Schriftsteller treffen, zu widerlegen und kann auch die neuen Hypothesen der eben genannten Physiker übergehen [1].

Populäre Darstellung der Newtonschen Erklärung.

12. Wenn man sich die feste Erdkugel ganz mit Wasser umgeben und ohne Bewegung denkt, so könnte es scheinen, als ob man zuerst die Frage beantworten müsse, welche Gestalt die Wasserschicht annehmen müsse, wenn der Mittelpunct der Erde festgehalten werde, und nun das Wasser der anziehenden Kraft des Mondes ausgesetzt sey; aber dieses Festhalten des festen Erdkörpers ist so ganz dem, was in der Natur vorkommt, entgegen, dafs die Beantwortung dieser Frage uns der Erklärung der Erscheinungen wenig näher bringt. Man pflegt daher ein anderes Problem aufzulösen, das allerdings näher mit dem wirklichen Zustande der Dinge zusammentrifft, nämlich folgendes. Wenn die mit einer Wasserschicht umgebene feste Erdkugel jetzt auf einmal der anziehenden Kraft des Mondes ausgesetzt würde, welche Gestalt würde sie, indem sie gegen den Mond zu fällt, annehmen?

Hier läfst sich nun wohl leicht übersehen, dafs die dem Monde näheren Wassertheile an der Oberfläche stärker als der

---

1 Klöden Grundlinien einer Theorie der Erdgestaltung, und Parrot in Poggendorfs Annalen IV. 219.

Mittelpunct der Erde angezogen werden, daſs sie diesem voraus-
eilen und daſs also ein Theil der Wassermasse sich von den
Seiten der Erde wegziehen und da ansammeln werde, wo der
Mond im Zenith steht. Aber eben so leicht erhellet, daſs die
jenseit der Erde liegenden Wassertheilchen minder stark als
der Mittelpunct der Erde vom Monde angezogen werden, daſs
sie also nicht so sehr beschleunigt, zu minder schneller Be-
wegung angetrieben, hinter dem Mittelpuncte zurück bleiben,
und daſs also ein Theil der Wasserschicht sich von den Sei-
ten dahin ziehen wird, wo der Mond im Nadir steht. So
würde also kurz nachdem die Erde ihren freien Fall gegen den
Mond hin angefangen hätte, eine Fluth im vollen Maſse an
den zwei Orten auf der Erde entstanden seyn, welchen der
Mond im Zenith und im Nadir steht, und dagegen würde eine
Ebbe im vollen Maſse an alle den Orten eingetreten seyn, wo
der Mond im Horizonte gesehen wird. Die anziehende Kraft
der Erde auf jedes Theilchen wird hier darum nicht in Be-
trachtung gezogen, weil wegen der auf alle Theilchen Statt
findenden Einwirkung, und des dadurch entstehenden Druckes
und Gegendruckes, im ganzen Umfange der Kugelschicht Gleich-
gewicht statt findet, und Kräfte, die einander im Gleichgewichte
halten, als gar nicht vorhanden angesehen werden können.

Man könnte nun ebenso auch fragen, welche Aenderung
in der Lage der Wasserschicht eintritt, wenn zwei anziehende
Körper A, B, die Erde mit ihrer Wasserschicht zu sich hin
zögen, und es läſst sich wohl leicht einsehen, daſs der Was-
serberg oder die volle Fluth dann zwischen D und E an der
einen Seite der Erde, und zwischen F und G an der andern
Seite der Erde liegen werde; ferner daſs das Wasser am höch-
sten steigen, oder *Springfluthen* hervorbringen werde, wenn
beide Körper A und B nach derselben Richtung vom Mittel-
puncte der Erde aus liegen, indem dann die eine Kraft gerade
zu die Wirkung der andern verstärkt, und der Wasserberg sich
nicht gegen zwei Puncte hin in die Breite ausdehnt, sondern
in einem Puncte concentrirt ist; auch daſs eben diese verstärkte
Wirkung statt findet, wenn beide anziehende Puncte einander
gerade gegenüber in den Richtungen CB, CH liegen, weil
dann die *Zenithfluth* des einen durch die *Nadirfluth* des andern
verstärkt wird; und endlich, daſs diejenigen Fluthen am klein-
sten oder Nippfluth seyn werden, bei welchen die beiden an-

Fig. 1.

ziehenden Puncte vom Mittelpuncte der Erde gesehen 90° von einander entfernt sind.

Dieses alles stimmt nun freilich mit den Erscheinungen zusammen, indem eine von Mond und Sonne zugleich bewirkte Fluth statt findet, wenn beide Gestirne über dem Horizonte sind, und eine Fluth, wenn beide sich unter dem Horizonte befinden, indem die Vereinigung dieser Fluthen beim Neumonde Springfluthen hervorbringt, und auch die Vereinigung der Fluth, wobei der Mond unter dem Horizonte ist, mit der, wobei die Sonne über dem Horizonte ist, eine Springfluth bewirkt, u. s. w; aber mit Recht scheint man hier gegen einzuwenden, daſs ein solches Fallen gegen den Mond oder gegen die Sonne doch nicht wirklich statt finde, und damit die ganze Erklärung ihren Werth verliere. Diese Einwendung ist zwar sofern richtig, als die Erde nicht fortwährend sich jenen Körpern nähert; aber dennoch hat schon Mac-Laurin darauf sehr richtig erwiedert, daſs die Ablenkungen von der Tangente der Erdbahn genau ebenso erfolgen, wie es jenen Gesetzen des Falles gemäſs ist, und daſs daher die veränderte Gestalt der Wasserschicht ebenso bestimmt werde, obgleich allerdings wegen der gemeinschaftlichen, nach der Tangente der Bahn gerichteten Bewegung aller Theilchen, kein Fallen gegen Sonne oder Mond, sondern nur ein Fortrücken des Mittelpunctes der Erde auf der Erdbahn, und ein Abweichen der Wassertheilchen von derjenigen Bahn, die wir der Bahn des Mittelpunktes parallel nennen würden, statt findet. In der That pflegen wir ja auch die Bewe-gung in der kreisförmigen oder elliptischen Bahn so abzuleiten, daſs wir dem Körper eine Geschwindigkeit nach der Tangente beilegen, vermöge welcher er von A nach B in gegebener Zeit gelangen würde, und nun die anziehende Kraft gegen C hinzufügen, die in eben der Zeit ihn durch BD treiben würde, und folglich Ursache ist, daſs er den Bogen AD durchläuft. Eine ganz ähnliche Betrachtung findet hier statt. Denken wir uns nämlich die Erde AB in Bewegung, und stellt CD den Raum vor, den ihr Mittelpunct in einer Stunde zum Beispiel vermöge der schon erlangten Geschwindigkeit durchlaufen würde, wenn gar keine anziehenden Kräfte wirkten, so würde am Ende der Stunde die Erde in EDF angekommen seyn und ihre Kugelgestalt ohne alle Aenderung behalten haben. Nun aber stehe in

Fig. 2.

Fig. 3.

bedeutend groſser Entfernung nach der Richtung CS die Sonne, nach der Richtung CM der Mond. Diese Himmelskörper wirken auf den festen Kern der Erde oder auf den Mittelpunct der Erde etwas schwächer ein, als auf die in der Gegend von G liegenden Wassertheilchen, und die Wirkung derselben auf die bei H liegenden Wassertheilchen ist noch schwächer als die Wirkung auf den Mittelpunct. Um diese Verschiedenheit merklich zu machen, muſs ich sie etwas stärker zeichnen, als sie in der Natur ist, und annehmen, die Sonne würde in jener Stunde den Mittelpunct C nach c, der Mond würde ihn für sich allein nach γ treiben; G dagegen würde stärker angezogen und nach Richtungen Gm, Gs, mit CM, CS beinahe parallel, bis nach b durch die Sonne, bis nach β durch den Mond fortgezogen werden; und H endlich würde, schwächer angezogen, nur bis nach a vermöge der einen Kraft, bis nach α vermöge der andern Kraft gelangen. Es ist bekannt, daſs man, um die vereinte Wirkung beider Körper auf jene drei Puncte zu erhalten, die Parallelogramme $Ccw\gamma$, $Gbv\beta$, $Hau\alpha$, vollenden muſs, und daſs, wenn jedes jener Theilchen sonst keine Bewegung gehabt hätte, es vermöge der vereinigten Anziehungskraft der Sonne und des Mondes die Diagonale des Parallelogramms durchlaufen haben würde, also C nach w, G nach v, H nach u gelangt wäre. Aber wegen der allen Theilchen gemeinschaftlichen Geschwindigkeit muſs man nun ux, vy, wz, mit CD parallel und CD gleich nehmen, und es ist bekannt genug, daſs die vereinigte Wirkung dieser ursprünglichen, allen Theilchen gemeinschaftlichen Geschwindigkeit und jener gegen Sonne und Mond gerichteten anziehenden Kräfte darin besteht, daſs der Mittelpunct C nach z, der Punct G nach y, der Punct H nach x gelangt. Da nun die Masse der Erde dieselbe geblieben ist, und die Puncte G, H sich nicht von ihr getrennt, sondern nur die umgebende Wassermasse mit sich hingezogen haben, weil für die benachbarten Theilchen ganz ähnliche Umstände stattfinden, so hat die Erde die Gestalt xlym angenommen, während ihr Mittelpunct auf der Bahn um die Sonne nach z gekommen ist, und die Gegenden, die ich vorhin mit G, H bezeichnete, haben also beide die höchste Fluth, die Gegenden l, m haben die tiefste Ebbe. Und hier, wo ich den Unterschied der Anziehungen auf C und auf G eben so groſs, als den Unterschied der Anziehungen auf H und auf C angenommen habe, sind beide

Fluthen gleich; — ob dieses richtig sey, müſste eine nähere Untersuchung der wirklich statt findenden Anziehungen erst zeigen.

Diese Entwickelung muſs, dünkt mich, alle die Einwürfe, die selbst von gelehrten Physikern zuweilen gemacht sind, daſs ihnen die Fluth an der vom Monde abgewandten Seite nicht deutlich sey, gänzlich entkräften. Um aber diese Lehre von mehr als einer Seite zu beleuchten, füge ich noch folgende, gleichfalls populäre Darstellung hinzu.

13. Wenn die Erde, ohne von einem Monde begleitet zu seyn, um die Sonne liefe, so würde immer, nicht bloſs an der der Sonne zugekehrten, sondern auch an der von ihr abgewandten Seite eine Fluth bemerkbar seyn. Es ist nämlich bekannt, daſs die Erde, die ich für einen Augenblick bloſs als festen Körper betrachten will, darum in ihrer Bahn bleibt, weil die Schwungkraft genau durch die anziehende Kraft der Sonne im Gleichgewichte gehalten wird, und der Mittelpunct der Erde beschreibt also diejenige Bahn, wobei dieses statt findet. Aber nicht alle Theilchen der Erde haben auf der gekrümmten Bahn (selbst wenn wir auf die Rotation nicht sehen), gleiche Geschwindigkeit und nicht alle werden gleich stark von der Sonne angezogen. Die entferntern müssen auf ihrem etwas gröſsern Kreise schneller, die der Sonne zugekehrten müssen auf ihrem kleinern Kreise etwas langsamer fortgehen, damit alle zugleich ihren ganzen Umlauf vollenden und dagegen wirkt die anziehende Kraft schwächer auf die entferntern und stärker auf die nähern Theilchen. Diese Ungleichheit hätte gar keinen Einfluſs wenn die Erde ganz einen festen Körper bildete, indem die gesammte Bewegung sich dann dem Mittel aus allen Schwungkräften und aus allen anziehenden Kräften gemäſs verhalten würde; aber sobald flüssige Theilchen, oder solche, die sich von dem festen Erdkörper trennen können, auf der Erde sind, so wird jene Ungleichheit bemerkbar.

Die der Sonne nähern Theilchen haben eine kleinere Schwungkraft als der Mittelpunct der Erde und sind dagegen einer stärkern Attraction der Sonne wegen ihrer gröſsern Nähe ausgesetzt; ist also für den Mittelpunct oder für den festen Erdkörper ein genaues Gleichgewicht zwischen anziehender Kraft und Schwungkraft vorhanden, so findet für die der Sonne nähern Wassertheilchen an der ihr zugekehrten Oberfläche ein Uebergewicht der anziehenden Kraft statt, und diese

Theilchen sind im Begriff, der Sonne sich zu nähern, oder die Attraction vermindert ihre gegen die Erde gerichtete Schwere, und die Wassersäulen, die an dieser Seite liegen, können nicht anders den benachbarten und allmählig weiter von der gegen die Sonne gewandten Richtung entfernt liegenden Theilchen das Gleichgewicht halten, als indem sie sich hier höher erheben. Die den festen Erdkern umgebenden Gewässer erheben sich daher hier um so viel als jene verminderte Schwere es fordert, ganz so, wie auf der rotirenden Erde die Wassersäulen um den Aequator höher seyn müssen, um, bei ihrer verminderten Schwere, denen gegen die Pole hin das Gleichgewicht zu halten. So also entsteht eine Fluth auf der der Sonne zugewandten Seite. Auf der von der Sonne abgekehrten Seite ist dagegen die Schwungkraft zu groſs; denn nicht bloſs ist die Schwungkraft an jener Seite etwas gröſser als im Mittelpuncte, sondern auch die Anziehungskraft der Sonne ist kleiner, also ist dort ein merkliches Uebergewicht der Schwungkraft vorhanden; die dort liegenden Wassertheilchen haben also ein Bestreben, sich von der Erde los zu reiſsen, oder, da ihre Schwere dieses hindert, so wird wenigstens die auf sie wirkende Schwerkraft sich als verringert zeigen; der Druck der seitwärts liegenden Wasserschichten, die durch eine mächtigere Schwere gegen den Mittelpunct der Erde getrieben werden, verdrängt daher diese von einer geringern Schwere gedrängten Theilchen und nöthigt sie, einen höhern Stand anzunehmen, so lange bis der Gegendruck der höher gewordnen Säulen stark genug ist, um das Gleichgewicht zu erhalten. Auch an der von der Sonne abgewandten Seite entsteht also eine Fluth, und das Wasser senkt sich in allen den Puncten, die die Sonne im Horizonte sehen, oder denen sie wenig über oder unter dem Horizonte steht, um sich da vorzüglich zu sammeln, wo die Sonne im Zenith und wo sie im Nadir steht.

Die Rotation der Erde bringt hierin keinen erheblichen Unterschied hervor, indem die sämmtlichen Gewässer schon die dieser Rotation angemessene Gestalt haben, und die wegen jener fremden Kräfte eintretenden Aenderungen sich nun eben so bei der *sphäroidischen* Erde ergeben, wie sie bei der kugelförmigen, nicht rotirenden Erde seyn würden; nur bleibt jetzt der Gipfel der Fluthhöhe nicht fortwährend an demselben Puncte der Erde.

Um zu verstehen, welchen Einfluſs der Mond auf die Fluthen hat, müssen wir an den Einfluſs denken, den er auch auf die Bewegung des Mittelpunctes der Erde ausübt. Wenn wir uns die Erde in ihrer Bahn fortrückend denken, so wie sie, wenn es gar keinen Mond gäbe, fortrücken würde, und nun plötzlich den Mond an die Stelle hinsetzen, wo er beim Neumonde steht, so wird ohne Zweifel die ganze Erde wegen der verstärkten Attraction gegen die Sonne hin, aus ihrer Bahn etwas ausweichen, und genau solche Betrachtungen, wie die eben vorhin ausgeführten, zeigen, daſs die dem Monde zugekehrten Wassertheilchen am meisten und mehr als der Mittelpunct von ihrem Wege abgelenkt werden, sich nämlich dem Monde und der mit ihm in Conjunction stehenden Sonne mehr als der Mittelpunct nähern und also ein Anschwellen des Wassers bewirken werden. Die an der entgegengesetzten Seite liegenden Theilchen werden dagegen minder aus der ursprünglichen Bahn herausgezogen, und entfernen sich daher gleichfalls vom Mittelpuncte der Erde, so daſs eine Fluth an der von Sonne und Mond abgewandten Seite entsteht.

Etwas ganz Aehnliches geschieht, wenn wir uns den Mond im Vollmonde, der Sonne gerade gegenüber, denken. Dann werden nämlich alle Puncte der Erde etwas von der Sonne abwärts gezogen und zwar die von der Sonne entfernteren, dem Monde zugekehrten, am meisten und mehr als der Mittelpunct, die der Sonne zugekehrten am wenigsten; die Sonnenfluth, welche da entsteht, wo die Sonne im Zenith ist, wird also vermehrt, weil die ein wenig aus ihrer Bahn herausweichende Erde diese Theilchen hinter sich zurückläſst; und diejenige Sonnenfluth, welche da entsteht, wo die Sonne im Nadir ist, wird verstärkt, weil der dort im Zenith stehende Mond die Theilchen, die ihm am nächsten sind, mehr als den Mittelpunct aus der sonstigen Bahn gegen sich hinzieht.

Hätten wir den Mond da stehend angenommen, wo er in den Vierteln steht, so läſst sich eben so leicht zeigen, daſs er die Sonnenfluth schwächt oder vielmehr da seine Wirkung mächtiger als die der Sonne ist, daſs er eine Fluth da hervorbringt, wo die Sonne im Horizonte und der Mond im Zenith oder Nadir steht; daſs diese aber vermindert wird durch die Einwirkung der Sonne, welche das Wasser da hinzieht, wo der Mond es wegzieht. Ist der Mond im letzten Viertel, so

steht er in der Gegend, wohin der Lauf der Erde gerichtet ist; er beschleunigt also die Bewegung der Erde in ihrer Bahn und zwar am meisten die Bewegung der vorangehenden Theilchen, die ihm am nächsten sind, am wenigsten die Bewegung der Theilchen, die in der Bahn die nachfolgenden und vom Monde am entferntesten sind. Jene also eilen ein wenig dem Mittelpuncte der Erde voraus und machen da, wo der Mond im Zenith ist, eine Fluth; diese hingegen bleiben hinter dem Mittelpuncte zurück und dadurch entsteht da eine Fluth, wo der Mond im Nadir ist; aber da zugleich die Sonne zweien Puncten, welche den Mond im Horizonte habe, im Zenith oder Nadir steht, so wird da das tiefe Fallen des Wassers gehindert und dadurch die Mondfluth geschwächt. — Die Betrachtung für den Mond im ersten Viertel läſst sich hiernach leicht anstellen.

14. Wenn man die Richtigkeit dieser Ansichten anerkennt, so wird man nun auch ferner leicht einräumen, daſs die Fluthen höher und eben deshalb auch die Ebben tiefer seyn müssen, wenn der Mond der Erde näher ist, weil die Ungleichheit der Einwirkung auf den Mittelpunct und auf den nächsten Punct offenbar geringer ist, wenn ihre Entfernungen vom Monde sich wie 61 zu 60, als wenn sie sich wie 59 : 58 verhalten. Die gröſsere Höhe der Fluthen bei der Erdnähe des Mondes ist daher leicht zu erklären. Nicht ganz so leicht erhellet der Grund, den jedoch die strengere Theorie deutlich nachweist[1], warum die Fluthen etwas höher sind, wenn der Mond, und noch mehr, wenn Sonne und Mond sich im Aequator befinden. Theorie und Erfahrung zeigen, daſs es so sey, und aus dem Grunde sind die Springfluthen um die Aequinoctien am höchsten, weil dann die Sonne im Aequator und der Mond nie weit vom Aequator ist.

Da Mond und Erde oder Sonne und Erde einander nicht ruhend gegenüber stehen, sondern die rotirende Erde in jedem Augenblicke einen andern Punct dem Monde oder der Sonne zuwendet, so kann sich das Wasser nie ganz dem Gleichgewichte gemäſs so um den Mittelpunct ordnen, wie wir es bisher annahmen. Ein Punct der Erde, der zum Beispiel beim Neumonde allmählig durch die Umdrehung dahin geführt wird,

---

1 Vergl. Nr. 19.

wo Sonne und Mond ihm im Zenith stehn, oder der nach und nach Sonne und Mond über seinem Horizonte herauf steigen sieht, leidet nach und nach eine immerstärker werdende Anziehung beider, und das Wasser in seiner Umgebung kommt also zum Steigen, wenn die Erde ganz mit Wasser umgeben ist oder wenigstens das Wasser um jenen Punct mit einem sehr ausgedehnten Meere in Verbindung steht. Dieser Antrieb zum Anschwellen des Wassers ist freilich am stärksten, wenn Mond und Sonne das Zenith dieses Ortes erreicht haben, aber da auch nachher noch die Kraft in wenig geschwächtem Maſse fortdauert und wegen mannichfaltiger Hindernisse die erreichte Höhe nie ganz dem gleich seyn kann, was erfolgen würde, wenn bei ruhender Erde das Wasser sich ganz ins Gleichgewicht setzte, so dauert das Anschwellen selbst im groſsen Ocean noch fort, wenn auch Mond und Sonne schon über das Zenith hinaus fortgerückt sind.

Diese Verspätung der Fluth, die aus dem eben bemerkten Grunde selbst im Ocean statt findet, ist nun noch merklicher in entlegenen Meeren, deren Zugänge eng sind oder zu denen die Fluth erst durch einen Umweg gelangen kann, wie schon oben bemerkt ist.

15. Daſs nur weit ausgedehnte Meere, nur solche, die mit dem groſsen Ocean in ziemlich freier Verbindung stehn, Fluth und Ebbe haben können, läſst sich aus dem Vorigen nun wohl leicht übersehen. Allerdings wird auch im Caspischen Meere die Schwere des Wassers um etwas vermindert, wenn Sonne und Mond sich dem Zenith nähern, aber da diese Verminderung für die ganze Ausdehnung dieses eng begränzten Meeres fast gleich ist, so bleibt die Oberfläche horizontal und nichts verräth jene Einwirkung. Erstreckt sich dagegen ein solches Meer bis in diejenigen Gegenden, wo der Mond in der Nähe des Horizonts steht, so ist es grade so, als ob in einer zweischenkligen Röhre im einen Schenkel eine leichtere Flüssigkeit, im andern eine schwerere ist, oder als ob in jenem die Flüssigkeit allmählig leichter geworden wäre; bekanntlich muſs diese leichtere Flüssigkeit höher stehen, um der an sich schwerern im andern Schenkel das Gleichgewicht zu halten, wären aber beide in gleichem Maſse leichter geworden, so würde der vorige gleichhohe Stand durch nichts gestört werden.

Theoretische Untersuchungen über die Ebbe und Fluth.

16. Wenn man auf die Rotation der Erde keine Rücksicht nimmt, sondern es so ansieht, als ob die Erde dem anziehenden Körper immer dieselbe Seite zukehre, so läſst sich *leicht* bestimmen, welche Gestalt die Erde, vermöge der auf sie einwirkenden beschleunigenden Kräfte annehmen müſste, wenn sie entweder ganz flüssig oder doch ganz mit Wasser bedeckt wäre.

Es ist bekannt, daſs die ganze Erde, wenn man sie als eine vereinigte Masse betrachtet, von dem Körper S so angezogen wird, als ob ihre ganze Masse im Mittelpuncte vereinigt wäre. Diese Attraction kann also, wenn der Abstand des Mittelpunctes der Erde vom Mittelpuncte des anziehenden Körpers SC = a ist, durch $\frac{f^2}{a^2}$ ausgedrückt werden, worin f eine durch die als bekannt angenommene Intensität der anziehenden Kraft gegebene Gröſse ist, welche bestimmt wird, indem man sie mit der Anziehung der Erde an ihrer Oberfläche oder der Schwere, als Einheit angenommen, vergleicht. Da wir hier bloſs nach den Aenderungen der Gestalt fragen, welche die kugelförmige Erde vermöge jener Attraction erleidet, so kommt es nur auf die Differenz der auf jedes Theilchen und auf den Mittelpunct der Erde wirkenden Kräfte an, indem diejenigen Kräfte, welche die Erde in ihrer Bahn erhalten, allen Theilen der Erde gemeinschaftlich und gerade so groſs sind, als es der auf den Mittelpunct wirkenden Attractionskraft gemäſs ist.

Fig. 4.

Es sey nun M ein Theilchen der Erde, dessen Coordinaten seyen CP = x, PM = y, so ist die auf dasselbe wirkende, gegen S ziehende beschleunigende Kraft

$$= \frac{f^2}{(a-x)^2 + y^2}.$$

Diese Kraft kann auf verschiedene Weise in zwei Seitenkräfte zerlegt werden, unter welchen Zerlegungen zwei zu unserm Zwecke passend sind. Die erste, wenn wir sie in eine mit CS parallele und in eine auf CS senkrechte zerlegen; die zweite, wenn wir sie in eine mit CS parallele und in eine nach der Richtung des Radius CM wirkende zerlegen. Die erste Zerlegung giebt folgende zwei Kräfte

1. mit CS parallel $= \frac{(a-x)f^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

2. auf CS senkrecht $= \frac{y f^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

oder da x, y ziemlich geringe in Vergleichung gegen a sind, so dafs man $\frac{1}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{a^3} + \frac{3x}{a^4}$ setzen kann, so ist

1. jene Kraft $= \frac{f^2}{a^2} + \frac{2xf^2}{a^3}$

2. und diese $= \frac{yf^2}{a^3}$

Die zweite Zerlegung würde die Kraft

I. mit CS parallel $= \frac{af^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$.

II. mit CM parallel $= \frac{f^2\sqrt{(x^2+y^2)}}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

geben, und wegen der schon erwähnten Vereinfachung,

I. die mit CS parallele $= \frac{f^2}{a^2} + \frac{3f^2x}{a^3}$;

II. die mit CM parallele $= \frac{f^2\sqrt{(x^2+y^2)}}{a^3}$

Bei beiden Zerlegungen mufs die mit CS parallele Kraft aus den oben erwähnten Gründen um $\frac{f^2}{a^2}$ vermindert werden, weil wir nur allein den Unterschied der auf dem ganzen Erdkörper und der auf jedes einzelne Theilchen wirkenden Kraft anwenden dürfen, um die Aenderung der Figur zu finden. Also ist zuerst die in Betrachtung kommende Kraft zusammengesetzt aus einer Kraft (A) $= \frac{2xf^2}{a^3}$, nach CS, und einer Kraft (B) $= \frac{yf^2}{a^3}$, senkrecht auf CS, und zweitens ist sie auch zusammengesetzt aus einer Kraft (C) $= \frac{3f^2x}{a^3}$ nach CS und einer Kraft (D) $= \frac{f^2\sqrt{(x^2+y^2)}}{a^3}$ nach der Richtung MC.

17. Wir wollen die beiden letzten Kräfte (C) und (D)

zuerst betrachten und nun auch die nach MN gerichtete zerlegen in eine nach MQ und eine nach MR, wo nämlich MQ der verlängerte Radius, MR die Tangente ist. Diese Zerlegung der Kraft (C) giebt nach MQ ... (C) Cos. MCP und nach MR ... (C) Sin. MCP,

oder nach MQ die Kraft $= \frac{3 f^2 x^2}{a^3 \sqrt{(x^2 + y^2)}}$

nach MR die Kraft $= \frac{3 f^2 xy}{a^3 . \sqrt{(x^2 + y^2)}}$.

Jene strebt der (D) entgegen und die anziehende Kraft des Gestirnes vermehrt die gegen die Erde zu treibende Kraft um $\frac{f^2}{a^3} \left(\sqrt{(x^2 + y^2)} - \frac{3 x^2}{\sqrt{(x^2 + y^2)}} \right)$, die nach der Richtung der Tangente wirkende Kraft ist dagegen $= \frac{3 f^2 xy}{a^3 \sqrt{(x^2 + y^2)}}$.

Hier zeigt sich erstlich, daſs die gegen die Erde zu treibende Kraft positiv oder die Schwere des Theilchens vermehrend ist, wenn $y^2 > 2 x^2$ oder $y > x . \sqrt{2}$, das heiſst für alle die Theilchen M, für welche der Winkel SCM > 54° 45′ ist; also für die zwischen F und H liegenden und eben so für die zwischen G und I liegenden Theilchen wird die Schwere vermehrt, für die in FG und in HI liegenden Theilchen vermindert.

Zweitens erhellet, daſs die in M nach der Tangente wirkende Kraft positiv ist, wenn x, y, beide positiv oder beide negativ sind, und negativ, wenn sie ungleiche Zeichen haben. Diese Tangentialkraft ist aber positiv, wenn sie den positiven Winkel MCS zu vermindern strebt, und negativ, wenn sie den positiven zu vermehren, den negativen zu vermindern strebt; also ist von A bis D ein Bestreben des Wassers gegen A, zu flieſsen, eine positive Kraft; von D bis B, wo x negativ, y positiv, eine negative Kraft oder ein Bestreben des Wassers gegen B hin zu strömen; von A bis E ist die Kraft negativ oder zu Verminderung des negativen Winkels ACG thätig, das ist, das Wasser hat in G ein Bestreben nach A zu, und endlich in dem Quadranten EB strebt es nach B hin. So lange also die Erde die Kugelgestalt hat, findet in der ganzen gegen S zugewandten Halbkugel ein Hindrängen nach A, und in der entgegengesetzten Halbkugel ein Hindrängen nach B

statt, und es erhellet also, dafs in A und B ein Anschwellen des Wassers entstehen wird, welches sich eben dadurch von D und E wegzieht, oder dort sinkt.

18. Aber welche Gestalt wird dann die Wasserschicht der Erde annehmen, und bei welcher Gestalt wird das Gleichgewicht hergestellt seyn? Wir wollen annehmen, x l y m sey diese längliche Gestalt: so wirken auf ein Theilchen M in der Oberfläche erstlich die Attraction des Erdkörpers selbt, und zweitens die beiden aus der Attraction des fremden Körpers hervorgehenden Kräfte. Die Oberfläche ist nach den Gesetzen der Hydrostatik im Gleichgewichte, wenn die aus jenen Kräften entspringende Mittelkraft senkrecht gegen die Oberfläche ist, und daraus läſt sich zeigen, dafs x l y m ein durch Umdrehung um x y entstandenes Sphäroid ist, dessen lange Axe die Umdrehungs-Axe und gegen den anziehenden Körper gerichtet ist.

Fig. 3.

Um den Beweis hiefür zu führen, müssen wir zuerst die Attraction kennen, welche ein solches Sphäroid selbst gegen jedes seiner Theilchen ausübt. Die Untersuchung über diesen Gegenstand kann hier nicht vollständig eingeschaltet werden; ich begnüge mich daher, die Hauptsätze, worauf es ankommt, mitzutheilen. I. Es erhellt leicht, dafs die Attraction des kleinen Kegels BAD auf den Punct A durch $\int \frac{dr.\ \pi\ \varphi^2\ r^2}{r^2}$ ausgedrückt wird, wenn der als sehr klein angenommene Winkel BAD $= 2\ \varphi$ und der Abstand irgend einer Schicht der Kegelmasse von A, $= r$ ist, also die Attraction dieser Kegelmasse ist ihrer Länge proportional $= \pi\ \varphi^2.\ r.$

Fig. 5.

II. Wenn auf der Oberfläche eines Sphäroids ADBE ein Punct M willkürlich angenommen wird, und man zieht Ma, MR mit den beiden Haupt-Axen des Axenschnittes, worin M liegt, parallel, so ist für jede zwei, unter gleichen Winkeln gegen MR gezeichnete gerade Linien ML, MK, die Summe dieser Linien ML + MK, gleich der Summe der mit ihnen parallelen Linien ak + al, welche von dem Puncte a in der Axe AB aus bis an den Umfang einer der Ellipse ADBE ähnlichen und ähnlich liegenden Ellipse sich erstrecken. — Dieser Satz wird aus der Betrachtung der Ellipse leicht erwiesen.

Fig. 6.

III. Die Attraction, die von der ganzen Linie MK oder einem sehr schmalen Kegel, dessen Axe MK und Spitze M ist,

auf M ausgeübt wird, giebt nach der Richtung MR eine Attraction $= \pi . \varphi^2 . MR$, [Vergl. Nr. 1] und die aus der Attraction der ML und MK entspringende Wirkung ist $= \pi\varphi^2 (MP + MR) = 2\pi\varphi^2 . ap$ (wobei nur noch zu bemerken ist, daſs wenn RML = KMR so groſs wird, daſs die innerhalb der Ellipse fallende Sehne nicht mehr auf ML, sondern auf der rückwärts gehenden Verlängerung liegt, MP als negativ vorkommt) — weil die ganze Attraction der MK oder des sie umgebenden kleinen Kegels mit Cos. KMR multiplicirt werden muſs, um die Wirkung nach MR zu erhalten.

IV. Denkt man sich nun ADBE und die dieser Ellipse ähnliche adbe um AB gedreht, und die so entstandenen Sphäroide durch irgend eine Ebene, die durch Ma geht, geschnitten, so läſst sich für jeden der so entstehenden Schnitte, die nämlich bei irgend einer Lage der Ebene ähnlich in dem kleinern und in dem gröſsern Sphäroid ausfallen, ein dem Satze II gleich lautender Satz beweisen, und es läſst sich nun wohl übersehn, daſs

V. die nach der Richtung MR wirkende gesammte Attraction des Sphäroids ADBE auf den Punct M genau so groſs ist, als die gesammte nach der Richtung ab wirkende Attraction des ähnlichen Sphäroids abde auf den Punct a; und genau eben so läſst sich

VI. zeigen, daſs die auf M wirkende mit DE parallele Wirkung der Attraction des Sphäroids ADBE eben so groſs ist, als die Attraction eines ähnlichen und ähnlich liegenden Sphäroids, dessen halbe mit DE parallele Axe cq = aM ist, auf den Punct q nach der Richtung qE seyn würde.

VII. Es ist also nur nöthig, die Attraction zu bestimmen, welche ein Sphäroid auf den Endpunct seiner Axe und auf einen Punct in der Oberfläche seines Aequators ausübt, und davon die eben angedeutete Anwendung zu machen.

VIII. Um zuerst die Attraction auf den Endpunct der Umdrehungs-Axe zu finden, stelle man sich von diesem aus bis zu dem anziehenden Theilchen, dessen Masse ich mit dM bezeichne, eine Linie gezogen vor, und bestimme die Lage dieses Theilchens durch die Länge $= r$ dieser Linie, durch den Winkel $= \varphi$, den sie mit der Axe macht, und den Winkel $= \psi$, der die Stelle des Theilchens auf einem um die Axe gezognen Parallelkreise angiebt. Dann sind die

drei auf einander senkrechten Dimensionen des Theilchens $r d\varphi$, $r \,\mathrm{Sin.}\, \varphi.\, d\psi$ und dr, und da die auf jenen Punct ausgeübte Attraction dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportional ist, so haben wir jenes Theilchens Attraction $= \frac{r^2\, d\varphi.\, d\psi.\, dr.\, \mathrm{Sin.}\,\varphi}{r^2}$, und das richtig genommene Integral der Formel $d\psi.\, dr.\, d\varphi.\, \mathrm{Sin.}\,\varphi.$ ist der Ausdruck für die gesammte Attraction. Aber wir verlangen hier nur die Wirkung der Attraction nach der Richtung der Axe, die $= d\psi.\, dr.\, d\varphi.\, \mathrm{Cos.}\,\varphi.\, \mathrm{Sin.}\,\varphi$ ist; und diese Formel giebt durch zweimalige Integration, wenn man das auf ψ sich beziehende Integral von $\psi = 0$ bis $\psi = 2\pi$ nimmt,

$$2\pi\, r.\, d\varphi.\, \mathrm{Sin.}\,\varphi.\, \mathrm{Cos.}\,\varphi.$$

Damit aber dies Integral sich bis an die Grenze des Sphäroids erstrecke, mufs es von $r = 0$ bis $r = \frac{2\, a\, b^2\, \mathrm{Cos.}\,\varphi}{a^2 - (a^2 - b^2)\, \mathrm{Cos.}^2\,\varphi}$ genommen werden, indem dies der Werth von r für die ganze Sehne der Ellipse ist, wenn a die halbe Axe, b den halben Durchmesser des Aequators bedeutet.

Also jene Attraction $= \int \frac{-4\pi\, a b^2\, \mathrm{Cos.}^2\varphi.\, d.\, \mathrm{Cos.}\,\varphi}{a^2 - (a^2 - b^2)\, \mathrm{Cos.}^2\varphi}$

$$= \int \frac{4\pi\, a\, b^2}{a^2 - b^2}\, d.\, \mathrm{Cos.}\,\varphi - \int \frac{4\pi\, a^3\, b^2}{a^2 - b^2}\, \frac{d.\, \mathrm{Cos.}\,\varphi}{a^2 - (a^2 - b^2)\,\mathrm{Cos.}^2\varphi}$$

$$= \frac{+4\pi a b^2\, \mathrm{Cos.}\,\varphi}{a^2 - b^2} - \frac{2\pi\, b^2}{e^3 a} \log. \frac{1 + e\, \mathrm{Cos.}\,\varphi}{1 - e\, \mathrm{Cos.}\,\varphi},$$

$= \frac{-4\pi b^2}{a.\, e^2} + \frac{2\pi\, b^2}{a\, e^3} \log. \frac{1+e}{1-e}$, weil das Integral von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 90°$ genommen werden mufs. Uebrigens bedeutet $e = \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)}}{a}$ die Excentricität.

IX. Um die Attraction gegen einen Punct in der Oberfläche des Aequators zu finden, wollen wir uns durch diesen Punct zwei Ebenen gelegt denken, eine durch die Hauptaxe des Sphäroids und eine zweite unter dem Winkel ψ gegen diese geneigt mit der Axe parallel. Es läfst sich leicht zeigen, dafs beim Sphäroid der Schnitt, den diese letztere Ebene bildet, dem Schnitte durch die Axe ähnlich ist, und dafs seine in der Ebene des Aequators liegende Axe $= 2\, b\, \mathrm{Cos.}\,\psi$, die mit der Umdrehungs-Axe parallele Axe $= 2\, a\, \mathrm{Cos.}\,\psi$ ist. Ein Theilchen dieser Ebene kann, wenn r den

Abstand von jenem angezognen Puncte in des Aequators Oberfläche ausdrückt und φ den Winkel, den dieser Radius mit der Ebene des Aequators macht, durch dr. $rd\varphi$ ausgedrückt werden, und wenn man den Winkel ψ um $d\psi$ verändert, so wird die Lage dieses Theilchens um r Cos. φ. $d\psi$ geändert, welches daher die dritte Dimension des anziehenden Theilchens, und dieses selbst $= r^2 \, dr. \, d\psi. \, d\varphi. \, Cos. \, \varphi$ giebt, die Attraction aber $= \frac{r^2 \, dr. \, d\psi. \, d\varphi. \, Cos. \, \varphi}{r^2}$, und diese gesammte Attraction zerlegt, giebt parallel mit dem Radius, der von dem angezogenen Puncte nach dem Mittelpuncte geht, eine Kraft $= dr. \, d\psi. \, d\varphi. \, Cos. \, \varphi. \, Cos. \, \psi. \, Cos. \, \varphi$, deren Integral auf den ganzen Körper erstreckt das ist, was wir suchen.

Die Ellipsen, deren eine, unter dem Winkel ψ gegen den Axenschnitt geneigt, wir betrachten, haben eine kleinere halbe Axe $= b \, Cos. \, \psi$ und die grösere halbe Axe $= a \, Cos. \, \psi$; da aber die Abstandslinien $= r$ jetzt vom Ende der kleinern Axe ausgehen, so ist $r = \frac{2 a^2 b \, Cos. \, \varphi \, Cos. \, \psi}{b^2 Sin.^2 \varphi + a^2 Cos.^2 \varphi}$ oder $r = \frac{2 \, b \, Cos. \, \varphi \, Cos. \, \psi}{1 - e^2 \, Sin.^2 \varphi}$, der Werth der Sehne, und das erste Integral der Formel $dr. \, d\varphi. \, d\psi. \, Cos.^2 \varphi \, Cos. \, \psi$ ist also $= \frac{2 b \, d\varphi. \, d\psi. \, Cos.^3 \varphi. \, Cos.^2 \psi}{1 - e^2 \, Sin.^2 \varphi}$; das zweite in Beziehung auf ψ, von $\psi = 0$ bis $\psi = \pi = 180°$ genommen, ist

$$= \frac{b \pi \, d\varphi. \, Cos.^3 \varphi}{1 - e^2 \, Sin.^2 \varphi} = \frac{b \pi. \, d Sin. \, \varphi \, (1 - Sin.^2 \varphi.)}{1 - e^2 \, Sin.^2 \varphi}$$

oder $= b \pi \left\{ \frac{d. \, Sin. \, \varphi}{e^2} - \frac{1 - e^2}{e^2} \, \frac{d \, Sin. \, \varphi}{1 - e^2 \, Sin.^2 \varphi} \right\}$ wovon das Integral ist $b \pi. \left\{ \frac{Sin. \, \varphi}{e^2} - \frac{1 - e^2}{2 e^3} \log. \frac{1 + e \, Sin. \, \varphi}{1 - e \, Sin. \, \varphi} \right\}$ welches von $\varphi = - 90°$ bis $\varphi = + 90°$ genommen, endlich giebt die Attraction

$$= \frac{b \pi}{e^2} \left(2 - \frac{1 - e^2}{e} \log. \left(\frac{1 + e}{1 - e} \right) \right)$$ als Attraction am Aequator.

X. Die Attraction wird hier linearisch ausgedrückt, weil wir sie für jedes Theilchen $= \frac{dM}{r^2}$ gesetzt haben; nach eben dieser

Art des Ausdruckes würde die ganze Schwere an der Oberfläche der kugelförmigen Erde, deren Halbmesser $= R$ ist, durch $\frac{4}{3}\,\frac{\pi R^3}{R^2}$ ausgedrückt seyn, und da wir diese als Einheit ansehn, so müssen jene Ausdrücke noch mit $\frac{4}{3}\,\pi R$ dividirt werden. Dadurch erhalten wir für ein Theilchen, dessen mit der Axe parallele Ordinate $= x$, die auf sie senkrechte Ordinate $= y$ ist (nach Nr. VI.) die mit der Axe parallele

Attraction $= \frac{3\,(1 - e^2)\,x}{R.\,e^2}\left\{ -1 + \frac{1}{2\,e}\,\log.\,\frac{1 + e}{1 - e} \right\}$;

die mit dem Aequator parallele Attraction

$$= \frac{3\,y}{4\,R\,e^2}\left\{ 2 - \frac{1 - e^2}{e}\,\log.\,\frac{1 + e}{1 - e} \right\}.$$

Da nun jene, wie aus Nr. 16. erhellt, um $\frac{2\,f^2\,x}{a^3}$ vermindert, diese um $\frac{f^2\,y}{a^3}$ vermehrt wird durch die Einwirkung des anziehenden Gestirns, so ist es die aus

$$x\left\{ -\frac{3\,(1 - e^2)}{R\,e^2} + \frac{3}{2}\,\frac{(1 - e^2)}{R\,e^3}\,\log.\,\frac{1 + e}{1 - e} - \frac{2\,f^2}{a^3} \right\} \text{ und}$$

$$y\left\{ \frac{3}{2\,R\,e^2} - \frac{3}{4}\,\frac{(1 - e^2)}{Re^3}\,\log.\,\frac{1 + e}{1 - e} + \frac{f^2}{a^3} \right\}$$

entstehende Mittelkraft, die auf die Oberfläche senkrecht seyn muſs, damit das Gleichgewicht bestehe. Nenne ich σ den Winkel, den diese Mittelkraft mit der Axe x macht, so ist

$$\text{Tang.}\,\sigma = \frac{x}{y}\left\{ \frac{+3\,e - \frac{3}{2}\,(1 - e^2)\,\log.\left(\frac{1 + e}{1 - e}\right) + \frac{2\,f^2\,Re^3}{a^3}}{-6(1 - e^2)e + 3\,(1 - e^2)\,\log.\left(\frac{1 + e}{1 - e}\right) - \frac{4\,f^2\,Re^3}{a^3}} \right\}$$

In einem Sphäroid aber ist der Winkel der Normallinie mit der Axe durch Tang. $\sigma = \frac{y}{(1 - e^2)\,x}$ bestimmt, und diese Winkel müssen also gleich seyn, wenn ein Sphäroid von der Excentricität $= e$ die zum Gleichgewicht erforderliche Figur ist.

XI. Bekanntlich ist $\log.\,\frac{1 + e}{1 - e} = 2\,(e + \frac{1}{3}\,e^3 + \frac{1}{5}\,e^5 + ..)$ also der Zähler des ersten Werthes von Tang. σ ist $=$ $y\left(2\,e^3 + \frac{4}{5}\,e^5 + \frac{2\,f^2\,R.\,e^3}{a^3}\right)$, der Nenner des ersten

Werthes $= x\left(2\,e^3 - \frac{4}{5}\,e^5 - \frac{4\,f^2\,R e^3}{a^3}\right)$.

Es muſs also $\frac{1}{1-e^2} = \frac{1 + \frac{1}{5}\,e^2 + \frac{f^2 R}{a^3}}{1 - \frac{2}{5}\,e^2 - \frac{2\,f^2\,R}{a^3}}$ seyn,

oder $e^2 = \frac{15}{2}\,\frac{f^2 R}{a^3}$.

Da R hier den mittlern Halbmesser der Erde, a den Abstand des anziehenden Gestirns bedeutet, so ist, wenn ich unter A die halbe lange Axe verstehe unter $B = A\sqrt{(1-e^2)}$ den Halbmesser des auf sie senkrechten gröſsten Kreises, $R = \frac{A}{2}\left(1 + \sqrt{(1-e^2)}\right)$ und $A^2\,e^2 = A^2 - B^2$, $\frac{A^2\,e^2}{A+B} = A - B = \frac{A^2\,e^2}{2\,R}$, daher $A - B = \frac{15}{4}\,\frac{f^2\,A^2}{a^3}$.

XII. Will man hieraus die Höhe der durch die Sonne bewirkten Fluth finden, so ist für eine kugelförmige Erde vom Halbmesser $= A =$ 19597962 Fuſs, weil $\frac{f^2}{A^2} =$ der Masse der Sonne gleich 354790, $\frac{A}{a} = 0{,}000041585$ ist, $A - B$ $= 1{,}875$ Paris. Fuſs, als Intervall der höchsten Fluth der Ebbe für die Wirkung der Sonne.

Für den Mond ist $\frac{f^2}{A^2} =$ ungefähr $\frac{1}{70}$, $\frac{A}{a} = \frac{1}{60{,}296}$, also $A - B = 4{,}81$ Fuſs.

Die vereinigten Fluthen des Mondes und der Sonne bei den Syzygien würden also 6,69 Fuſs; die Fluthen bei den Quadraturen kaum 3 Fuſs betragen.

19. Diese Betrachtungen reichen offenbar hin, die Verschiedenheit der Fluthhöhe bei der Erdnähe und Erdferne des Mondes, auch die Zeit und Höhe der Fluth bei der vereinten Wirkung von Sonne und Mond, wenn sie in verschiedenen Puncten des Himmels stehen, herzuleiten, so weit dies nämlich der Voraussetzung, daſs das Wasser sich völlig ins Gleichgewicht stelle, gemäſs ist. Ich will hiebei nicht verweilen, sondern nur noch den oben unerklärt gelassenen Umstand berühren, warum die Fluthen am gröſsesten sind, wenn der anziehende Himmelskörper im Aequator steht. Auf die wegen

der Rotation statt findende Abweichung der Erde von der Kugelgestalt wird auch hier nicht gesehen, sondern ADBE stellt das Sphäroid vor, so wie die Attraction des Mondes es bestimmt. Ist nun hier NO die Ebene des Aequators, so hat O die höchste Fluth dann, wenn der Mond im Zenith des Ortes D steht, aber da auch der auf die Ebene der Figur senkrechte Halbmesser der Erde = CA ist, so ist der gröfseste Halbmesser des Erd-Aequators = CO, der kleinste = CA, und das Intervall zwischen Fluth und Ebbe = CO — CA, welches, da

Fig. 7.

$$CO = \frac{A \sqrt{(1 - e^2)}}{\sqrt{(1 - e^2) \text{Cos.}^2 d}} =$$

$= A (1 - \frac{1}{2} e^2 \text{Sin.}^2 d)$, gesetzt werden kann und $CA = A \sqrt{(1 - e^2)} = A (1 - \frac{1}{2} e^2)$ ist, in $CO - CA = A. \frac{1}{2} e^2 \text{Cos.}^2 d$ übergeht.

Die Fluthhöhe ist also unter dem Aequator dem Quadrate vom Cosinus der Declination des Gestirns proportional. Aber auch für andere geographische Breiten gilt eine ähnliche Bestimmung. Deutet nämlich on einen mit dem Aequator parallelen Schnitt an, so ist dieser eine Ellipse, die dem Aequator ON ähnlich ist, aber im Verhältnifs des Cosinus der Breite kleiner, der gröfste Halbmesser dieses Schnitts ist also $= A \text{ Cos. } \beta. (1 - \frac{1}{2} e^2 \text{Sin.}^2 d)$, der kleinste $= A \text{ Cos. } \beta. (1 - \frac{1}{2} e^2)$, und da nicht der Unterschied dieser Halbmesser $= \frac{A \text{ Cos. } \beta}{2} e^2 \text{Cos.}^2 d$ die Fluthhöhe bestimmt, sondern dieser Unterschied noch mit dem Cosinus der Neigung gegen die Verticallinie multiplicirt wird, also $or = om. \text{Cos. } \beta$ seyn würde, wenn om $= \frac{A \text{ Cos.} \beta}{2} e^2 \text{Cos.}^2 d$ = jenem Unterschiede ist, so ist offenbar die Fluthhöhe in der geographischen Breite $= \beta$ $= \frac{A e^2 \text{Cos.}^2 \beta. \text{Cos.}^2 d}{2}$, wenn des Mondes Declination = d ist.

Eben das gilt für die Sonne.

Diese Formel zeigt erstlich, dafs die Fluth gegen die Pole der Erde abnimmt, und zweitens, dafs um die Zeit der Aequinoctien, wo beim Neumond und Vollmond beide Himmelskörper dem Aequator nahe sind, die Springfluthen höher steigen, als zu andern Jahreszeiten.

20. Obgleich nun diese Untersuchungen, so wie sie hier angedeutet und von BERNOULLI, MACLAURIN und EULER schon in der Mitte des vorigen Jahrhundert durchgeführt sind, in den Hauptsachen eine genügende Erklärung darzubieten schienen, so sind doch die Mathematiker in dem, was sie Erklärung einer Naturerscheinung nennen, zu strenge, als daſs sie für immer hierbei hätten stehen bleiben sollen. Eine Erscheinung ist erst dann *vollständig* erklärt, wenn dabei erstlich *alle* mitwirkende Umstände genau der Natur gemäſs in Betrachtung gezogen sind, und wenn sich dann zweitens die in genauen Zahlen gegebenen Beobachtungen auch dem Maſse nach mit der Theorie einstimmig zeigen. LAPLACE fand es daher mit Recht nothwendig, auf den Umstand, daſs der Zustand des Gleichgewichts nie erreicht wird, sondern die Ebbe und Fluth in steten Oscillationen besteht, Rücksicht zu nehmen, und die so berichtigte Theorie erst mit der Erfahrung zu vergleichen. Diese Theorie hier ganz mitzutheilen, überschreitet nun zwar bei weitem die Grenzen der gegenwärtigen Darstellung; indeſs glaube ich doch den kundigen Lesern einen Blick auf die Hauptzüge dieser Theorie nicht vorenthalten zu dürfen, und ich will es wagen, eine Andeutung dieser Hauptzüge zu versuchen. Auch sie ist noch nicht eine durchaus vollendete; aber sie enthält Hindeutungen auf alles das, was man bei Vergleichung zahlreicher und sehr genauer Beobachtungen vielleicht künftig zu berücksichtigen nothwendig finden wird.

21. Jedem, der sich nur etwas mit der höheren Hydrodynamik beschäftiget hat, sind die Differentialgleichungen

$$P\delta x + Q\delta y + R\delta z - \delta p = \delta x\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) + \delta y\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right) + \delta z\left(\frac{d^2t}{dt^2}\right),$$

und $0 = \left(\frac{du}{dx}\right) + \left(\frac{dv}{dy}\right) + \left(\frac{dw}{dt}\right)$ bekannt[1], welche alle Bewegungen flüssiger Körper von unveränderlicher Dichtigkeit = 1, umfassen. Hier ist die Lage jedes Theilchens durch drei, auf einander senkrechte Coordinaten x, y, z, angegeben, u, v, w sind die am Ende der Zeit = t

1 *Ich habe hier* ganz LAPLACE's Bezeichnungen im 4. Buch d. *méc. cél. beibehalten.*

statt findenden, diesen drei Coordinaten parallelen Geschwindigkeiten, also $u = \left(\frac{dx}{dt}\right)$, $v = \left(\frac{dy}{dt}\right)$, $w = \left(\frac{dz}{dt}\right)$; P, Q, R, sind die nach diesen drei Richtungen wirkenden beschleunigenden Kräfte; da aber in allen in der Natur vorkommenden Fällen $P\delta x + Q\delta y + R\delta z$, eine integrable Formel ist, so setzen wir dafür δV und bemerken, dafs δV aus der Summe derjenigen Producte besteht, welche wir erhalten, wenn jede Kraft in das Differential ihrer Richtung multiplicirt wird; endlich ist p der Druck, den eben jenes Theilchen leidet.

Die Bezeichnung δ ist hier von dem d deswegen verschieden, weil die letztere sich auf ein und dasselbe Theilchen, welches wir im Laufe der Zeit gleichsam verfolgen, bezieht, jene Bezeichnung hingegen den Uebergang auf andre Theilchen andeutet.

Um diese Formeln auf die Schwankungen des Meeres anzuwenden, führt man sie besser auf drei neue veränderliche Gröfsen r, ϑ, π zurück, deren erste der Abstand vom Schwerpuncte der Erde ist, welcher zugleich der Anfangspunct der x, y, z, war, die zweite ϑ giebt den Winkel an, welchen dieser Radius r mit der Axe der x macht, und π ist der Winkel, den eine durch r und die Axe der x gelegten Ebene mit der durch die Axe der x und die Axe der y gelegten Ebene macht.

Wenn die Erde eine Rotation um die Axe der x hat, so würde π sich schon deshalb im Laufe der Zeit ändern, wenn auch keine Bewegung in dem Fluido vorginge, und da die Rotationsbewegung gleichförmig ist, ginge der Werth von π, der für den Anfang der Zeit t galt, in $nt + \pi$ über; hier aber, wo von Schwankungen des Flüssigen, jedoch nur von Schwankungen, die gegen die ganze Gröfse der Erde geringe sind, die Rede ist, gehen die anfänglichen Werthe r, ϑ, π, im Laufe der Zeit in $(r + \alpha s)$; $(\vartheta + \alpha u)$; $(\pi + nt + \alpha v)$ über, und hier ist α so klein, dafs man seine höheren Potenzen weglassen darf. Hier erhellt nun leicht, dafs

$$x = (r + \alpha s)\,\text{Cos.}\,(\vartheta + \alpha u),$$
$$y = (r + \alpha s)\,\text{Sin.}\,(\vartheta + \alpha u).\,\text{Cos.}\,(nt + \pi + \alpha v),$$
$$z = (r + \alpha s)\,\text{Sin.}\,(\vartheta + \alpha u)\,\text{Sin.}\,(nt + \pi + \alpha v),$$

ist, und man findet δx, δy, δz, indem man blofs r, ϑ, π als veränderlich ansieht, die in Beziehung auf t genommenen

Differentiale aber, indem man blofs s, u, v als veränderlich ansieht. So wird, wenn man die in α^2 multiplicirten Glieder wegläfst, $\delta x = \delta \vartheta [(-r - \alpha s) \text{Sin.} \vartheta - \alpha r v \text{Cos.} \vartheta] + \delta r [\text{Cos.} \vartheta - \alpha u \text{Sin} \vartheta]$; und so ferner.

Aber da wir unsere Betrachtungen sogleich blofs auf die Oberfläche beziehen werden, und für diese r beinahe constant ist, so können wir δr als $= 0$ werdend ansehen, und erhalten durch eine etwas lange, aber gar nicht schwierige Rechnung

$$\left.\begin{aligned} &\alpha r^2 \delta \vartheta \left\{ \left(\frac{d^2 u}{d t^2}\right) - 2 n \text{ Sin.} \vartheta \text{ Cos.} \vartheta \left(\frac{d v}{d t}\right) \right\} \\ &+ \alpha r^2 \delta \pi \left\{ \text{Sin.}^2 \vartheta \left(\frac{d^2 v}{d t^2}\right) + 2 n. \text{Sin.} \vartheta. \text{Cos.} \vartheta \left(\frac{d u}{d t}\right) \right. \\ &\qquad\qquad \left. + \frac{2 n. \text{Sin.}^2 \vartheta}{r} \left(\frac{d s}{d t}\right) \right\} \\ &= \frac{n^2}{2} \delta. \left\{ (r + \alpha s)^2 \text{Sin.}^2 (\vartheta + \alpha u) \right\} + \delta V - \frac{\delta p}{\varrho} \end{aligned}\right\} \text{L.}$$

Da diese Gleichung sich auf die Oberfläche beziehen soll, so ist $\delta p = 0$, weil alle Theilchen, die sich an der Oberfläche befinden, gar keinen Druck leiden, also in Beziehung auf sie auch keine Ungleichheit des Druckes statt findet. Ferner würden beim Zustande des Gleichgewichts alle vor dem Gleichheitszeichen stehenden Glieder wegfallen, da im Gleichgewichte die von der Zeit abhängigen Aenderungen gar nicht vorkommen, und folglich ist, wenn (δV) denjenigen Werth anzeigt, den δV beim Gleichgewichte hat, der nach dem Gleichheitszeichen stehende Theil $= \delta V - (\delta V)$, und dieser läfst sich noch näher angeben, da δV nur dadurch von (δV) verschieden ist, dafs erstlich die Schwere etwas anders einwirkt, wenn die Oberfläche sich um etwas Geringes $= \alpha y$ über den natürlichen Zustand erhebt, und zweitens fremde Kräfte, zum Beispiel die Attraction der Sonne und des Mondes einwirken. Da δV die Summe der Producte aus jeder Kraft in das Differential ihrer Richtung ausdrückt, so kommt wegen der Einwirkung der Schwere, deren Kraft $= g$ sey, ein Glied $= - g\delta r$ vor, so lange das Theilchen an der Oberfläche in der Entfernung $= r$ war, oder beim Gleichgewichte, und dieses Glied geht in $- g(\delta r + \alpha \delta y)$ über, wenn bei der Bewegung das Theilchen in die Entfernung $r + \alpha y$ rückt[1],

[1] An der Oberfläche ist also y das, was vorhin s hiefs.

und wenn man die aus der Einwirkung fremder Anziehungen entspringenden Glieder $= \alpha \delta V'$ setzt, so ist $\delta V - (\delta V) = - \alpha g \delta y + \alpha \delta V'$.

Diese Betrachtungen verbunden mit der Bemerkung, dafs das Glied, worin $\left(\frac{ds}{dt}\right)$ vorkommt, wegfallen kann, giebt daher für die Oberfläche folgende erste aus der Wirkung der Kräfte hergeleitete Gleichung

$$\left.\begin{array}{l} r^2 \delta \vartheta \left\{\left(\frac{d^2 u}{d t^2}\right) - 2 n \operatorname{Sin.} \vartheta \operatorname{Cos.} \vartheta. \left(\frac{dv}{dt}\right)\right\} \\ + r^2 \delta \pi \left\{\operatorname{Sin.}^2 \vartheta. \left(\frac{d^2 u}{d t^2}\right) + 2 n \operatorname{Sin.} \vartheta. \operatorname{Cos} \vartheta \left(\frac{du}{dt}\right)\right\} \\ = - g \delta y + \delta V'. \end{array}\right\} M.$$

Die zweite im Anfange angeführte Gleichung beruht auf der Ueberlegung, dafs im Fortrücken des Theilchens seine Masse ungeändert bleibt. Diese Masse hat bei der anfänglichen durch r, ϑ und π bestimmten Lage die drei Dimensionen dr, $rd\vartheta$, $rd\pi \operatorname{Sin.} \vartheta$, oder ist $= r^2\, dr.\, d\vartheta.\, d\pi \operatorname{Sin.} \vartheta$; im Fortgange der Zeit ist sie also den frühern Bezeichnungen gemäfs in $(\operatorname{Sin.} \vartheta + \alpha u \operatorname{Cos.} \vartheta)(r^2 + 2 r \alpha s)(dr + \alpha ds)(d\vartheta + \alpha du)(d\pi + \alpha dv)$ übergegangen, welches, da die höhern Glieder wegbleiben $= r^2 \operatorname{Sin.} \vartheta.\, dr.\, d\vartheta.\, d\pi$

$$+ \alpha \left\{\begin{array}{l} 2 rs \operatorname{Sin.} \vartheta.\, d\vartheta.\, dr.\, d\pi + r^2 \operatorname{Sin.} \vartheta\, d\vartheta.\, ds\, d\pi \\ + r^2 \operatorname{Sin.} \vartheta\, dr.\, du.\, d\pi + r^2 \operatorname{Sin.} \vartheta.\, d\vartheta.\, dr.\, dv \\ + r^2 \operatorname{Cos.} \vartheta.\, u d\vartheta.\, dr.\, d\pi \end{array}\right\},$$

ist, und also $0 = \frac{d.\, r^2 s}{dr} + r^2 \left\{\left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \operatorname{Cos.} \vartheta}{\operatorname{Sin.} \vartheta}\right\}$

als zweite Gleichung für die Bewegung giebt.

Auch das in Beziehung auf r genommene Integral dieser Gleichung wird also eine gegenseitige Bestimmung der vorkommenden Gröfsen geben; und bei dieser Integration können u und y als constant angesehen werden, weil sich zeigen läfst[1], dafs die Theilchen, die sich auf einem gewissen Erdhalbmesser befinden, sich auch bei den hier zu betrachtenden Schwankungen fortwährend auf einerlei Halbmesser befinden.

---

1 Laplace gegen das Ende des 36. §. im I. Buch.

Dieses Integral wird demnach

$$C = r^2 s + \tfrac{1}{3} r^3 \left\{ \left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta.} \right\}$$

und wenn $r = R$ ist, für den Boden des Meeres, und dort $r^2 s = R^2 (s)$ wird, so ist $C = R^2 (s) + \tfrac{1}{3} R^3 \left\{\left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta}\right\}$.

Das Integral erhält seinen vollen Werth an der Oberfläche, wo $r = R + \gamma$ ist, wenn γ die Tiefe des Meeres anzeigt, der volle Werth ist also

$$0 = r^2 s - R^2 (s) + R^2 \gamma \left\{\left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta}\right\}.$$

Da ferner $r^2 s - R^2 (s) = R^2 s + 2 R \gamma s - R^2 (s)$ ist, und das Glied $2 R \gamma s$ wegbleiben kann, weil die Tiefe des Meeres $= \gamma$ sehr klein gegen R und auch s sehr klein ist, so haben wir $r^2 s - (r^2 s) = R^2 \big(s - (s)\big)$; und da R in $R + \alpha (s)$; $R + \gamma$ in $R + \gamma + \alpha s$, übergeht, wie aus den mit diesen Zeichen verknüpften Begriffen erhellet, so ist $\gamma + \alpha \big(s - (s)\big)$ die im Verlaufe der Zeit t veränderte Tiefe des Meeres. Da nun die Anfangs durch r, ϑ, π bestimmten Theilchen so fortgerückt sind, dafs ihre Lage jetzt durch $r + \alpha s$, $\vartheta + \alpha u$, $\pi + \alpha v$ angegeben wird, (wenn gleich u, v, als unabhängig von r angesehen werden konnten) so sind die Theilchen in eine Stelle gerückt, wo schon Anfangs

$$\gamma \; . \; . \; . \text{ den Werth} = \gamma + \alpha u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + \alpha v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right)$$

hatte, also schon damals $\alpha \big(s - (s)\big) = \alpha \left(u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right)\right)$ war; da nun aber die Erhebung der Oberfläche vermöge der Schwankungen $= \alpha y$ war, so ist der jetzige wahre Werth von $\alpha \big(s - (s)\big) = \alpha \left\{ y + u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right)\right\}$ und daher der oben gefundene volle Werth des Integrals

$$y = -\left(\frac{d.\gamma u}{d\vartheta}\right) - \left(\frac{d.\gamma v}{d\pi}\right) - \frac{\gamma u \,\text{Cos.}\, \vartheta}{\text{Sin.}\, \vartheta}$$

und diese Gleichung (N), mufs also nebst der obigen (M) den ferneren Untersuchungen zur Grundlage dienen[1]. Sie gelten

---

1 Die Gründe, warum (M) auch für die innern Theilchen gilt, mufs man bei LAPLACE I. §. 36. gegen das Ende nachsehn.

noch allgemein für alle kleine Schwankungen eines den Kern der kugelförmigen Erde nicht sehr tief bedeckenden Meeres.

22. Um sie auf die Oscillationen anzuwenden, welche durch die Attraction anderer Weltkörper hervorgebracht werden, müssen wir den Werth des Gliedes $\alpha \delta V'$ entwickeln.

Dieser besteht theils aus der Wirkung der entfernten anziehenden Gestirne, theils aus der Attraction der Wasserschicht selbst, deren Höhe durch αy ausgedrückt ist.

Wenn des Theilchens geographische Länge $= \pi$, also des an diesem Orte culminirenden Punctes Rectascension $= nt + \pi$, wenn des Theilchens geographische Breite $= 90° - \vartheta$ ist, und v bedeutet die Declination, ψ die Rectascension des Gestirns, dessen Abstand vom Mittelpuncte der Erde $= \varrho$ ist, statt daſs des Theilchens Entfernung $= r$ ist, so erhellet leicht, daſs die drei Coordinaten beider Puncte folgende sind:

$$\varrho \text{ Sin. } v; \quad \varrho \text{ Cos. } v. \text{ Cos. } \psi; \quad \varrho \text{ Cos. } v. \text{ Sin. } \psi; \text{ und}$$
$$r \text{ Cos. } \vartheta; \quad r \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } (nt + \pi);$$
$$r \text{ Sin. } \vartheta. \text{ Sin. } (nt + \pi).$$

Der Abstand des anziehenden Körpers von dem angezogenen Theilchen ist also

$$= \sqrt{\left\{(\varrho \text{Sin.} v - r \text{Cos.} \vartheta)^2 + (\varrho \text{Cos.} v \text{Cos.} \psi - r \text{Sin.} \vartheta \text{Cos.} (nt + \pi))^2 + (\varrho \text{ Cos.} v \text{ Sin.} \psi - r \text{ Sin.} \vartheta \text{ Sin.} (nt + \pi))^2\right\}};$$

$$= \sqrt{\left\{\varrho^2 - 2r\varrho[\text{Sin.} v \text{ Cos.} \vartheta + \text{Cos.} v. \text{Sin.} \vartheta \text{ Cos.} (nt + \pi - \psi)] + r^2\right\}},$$

und wenn dieser Abstand $= f$, die Masse des Körpers $= L$ ist, so ist die unmittelbare Einwirkung auf das Theilchen $= \frac{L}{f^2}$, und der daraus hervorgehende Theil von $\alpha \delta V'$ ist

$= \frac{-L df}{f^2} = + L. d \frac{1}{f}$. Aber da bloſs die relative Bewegung gegen den Mittelpunct der Erde gesucht wird, so muſs die auf den Mittelpunct wirkende Kraft, in entgegengesetzter Richtung angebracht, jener Kraft hinzugefügt werden. Diese findet man, wenn man die auf den Mittelpunct wirkende Kraft $= \frac{L}{\varrho^2}$ nach den Richtungen der drei Coordinaten zerlegt an dem Theilchen anbringt, und mit dem Differential ihrer Richtungen multiplicirt; diese Zerlegung giebt

$$\frac{L}{\varrho^2}\ \text{Sin. v}; \quad \frac{L}{\varrho^2}\ \text{Cos. v Cos. } \psi;$$

$$\frac{L}{\varrho^2}\ \text{Cos. v. Sin. } \psi, \text{ und}$$

$$\frac{L}{\varrho^2}\left\{\text{Sin. v. } \delta x + \text{Cos. v. Cos. } \psi.\ \delta y + \text{Cos. v. Sin. } \psi.\ d z\right\}$$

welches =

$$= \frac{L\,r}{\varrho^2}\ \delta\ \left\{\text{Const.} + \text{Sin. v. Cos. } \vartheta + \text{Cos. v Cos. } \psi \text{ Sin } \vartheta \text{ Cos. } (nt+\pi) + \text{Cos. v. Sin. } \psi \text{ Sin. } \vartheta \text{ Sin. } (nt+\pi)\right\}$$

ist, wenn man für x, y, z, ihre auf das angezogene Theilchen gehenden Werthe setzt, und dieses ist die mit $\delta.\frac{L}{f}$ zu verbindende Gröfse, so dafs $\alpha\,\delta\,V' =$

$$L.\,\delta.\left\{\frac{1}{f} - \frac{1}{\varrho} - \frac{r}{\varrho^2}\left[\text{Cos. } \vartheta \text{ Sin. v} + \text{Sin. } \vartheta.\text{Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi)\right]\right\}$$

wird. Statt der Constans habe ich sogleich $\frac{1}{\varrho}$ gesetzt, weil, wenn das Theilchen im Mittelpuncte selbst läge, oder die Kugel, auf deren Oberfläche r sich bezieht, einen unendlich kleinen Halbmesser hätte, die relative Wirkung ja nothwendig = 0 wäre. Wir müssen also nun $\frac{1}{f}$ in eine nach den Potenzen von ϱ geordnete fallende Reihe entwickeln; diese ist =

$$\frac{1}{\varrho} + \frac{r}{\varrho^2}\left[\text{Cos. } \vartheta \text{ Sin. v} + \text{Sin. } \vartheta \text{ Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi)\right]$$
$$+ \frac{3}{2}\frac{r^2}{\varrho^3}\left[(\text{Cos. } \vartheta.\text{ Sin. v} + \text{Sin. } \vartheta \text{ Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi))^2 - \tfrac{1}{3}\right]$$

und es wird $\alpha\,\delta\,V' =$

$$\frac{3}{2}\frac{r^2}{\varrho^3}L.\,\delta.\left\{\left[\text{Cos. } \vartheta \text{ Sin. v} + \text{Sin. } \vartheta \text{ Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi)\right]^2 - \tfrac{1}{3}\right\}$$

wenn man wegen der Gröfse der Entfernung ϱ die folgenden Glieder wegläfst. Dieser Werth läfst sich aber leicht in folgende verwandeln =

$$\frac{r^2}{\varrho^3}L.\ \delta.\ \left\{\begin{array}{l}\tfrac{1}{4}\ (\text{Sin.}^2 \text{ v} - \tfrac{1}{2}\text{ Cos.}^2 \text{ v})\ (1 + 3 \text{ Cos. } 2\,\vartheta) \\ + 3 \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta \text{ Sin. v. Cos. v. Cos. } (nt+\pi-\psi) \\ + \tfrac{3}{4}\text{ Sin.}^2\ \vartheta \text{ Cos.}^2 \text{ v Cos. } 2\ (nt+\pi-\psi)\end{array}\right\},$$

der auf drei verschiedene Arten von Oscillationen hinweiset.

Diese Oscillationen können, da sie sehr klein sind, als sich zu einander hinzufügend und jede für sich bestehend angesehen werden, und wir können sie daher jede einzeln betrachten. Diejenige, auf welche sich das erste Glied bezieht, hängt für einen gegebenen Ort auf der Erde bloſs von v ab, und ihre Periode wird also durch die Rückkehr des Himmelskörpers zu derselben Declination bestimmt. Die zweite Art von Oscillationen hängt vorzüglich, wenn π einerlei bleibt, von $nt - \psi$ ab, und hat also den scheinbaren Umlauf des Gestirns um den ganzen Himmel oder die Rückkehr zu derselben Stellung gegen den Mittagskreis zu ihrer Periode. Die dritte Art von Oscillationen hat nur eine halb so lange Periode, da bei wenig geändertem v ihre gleichen Werthe schon wiederkehren, wenn $nt - \psi$ sich um 180 Grade ändert.

Ehe wir aber hieraus die Oscillationen selbst näher bestimmen können, müſste eigentlich noch derjenige Theil von $a\,\delta V'$ gesucht werden, der von der Attraction der Kugelschicht, deren ungleiche Dicke durch αy ausgedrückt ist, hervorgebracht wird. Indeſs, da diese auf einer ganz eigenthümlichen Untersuchung beruht und es uns hier nur auf den Hauptgang der Betrachtungen ankommt, so wollen wir darauf hier keine Rücksicht nehmen.

23. Oscillationen der ersten Art.

Diese werden so bestimmt, als ob der ganze Werth von $\alpha V'$ in dem Ausdrucke

$\frac{1}{4} \frac{r^2}{\varrho^3} L \left(\text{Sin.}^2 v - \frac{1}{2} \text{Cos.}^2 v\right) \left(1 + 3 \text{ Cos. } 2\,\vartheta\right)$, enthalten wäre. Die Betrachtung dieser Oscillation kann ich hier sehr abkürzen durch die von Laplace vollständiger begründete Bemerkung, daſs sie fast ganz so erfolgen, wie es das unter der Einwirkung der anziehenden Körper statt findende Gleichgewicht fordern würde. Nimmt man dies an, so sind die in Beziehung auf t genommenen partiellen Differentiale $= 0$, und die Gleichung M geht ganz kurz in $\alpha g y = \alpha V'$ über, das ist

$$\alpha y = \frac{r^2 L \left(\text{Sin.}^2 v - \frac{1}{2}\text{Cos.}^2 v\right) \left(1 + 3 \text{ Cos. } 2\,\vartheta\right)}{4\,\varrho^3 .\, g}$$

und dies ist die Höhe der Fluth, die in Beziehung auf diese Oscillationen statt findet. Der Grund aber, warum sich hier fast ganz die dem Gleichgewichte angemessene Form her-

stellt, *oder* sich herstellen würde, wenn keine andere Oscillationen vorkämen, ist der, daſs v und ϱ lange genug nahe einerlei bleiben, um die gesammte Wirkung auszuüben, die diesem Werthe gemäſs ist. Für den Mond ist das zwar nicht strenge richtig, da seine Declination und Entfernung sich nicht so langsam ändert, aber auch für ihn glaubt LAPLACE mit diesem Ausdruck zufrieden seyn zu können.

24. Oscillationen der zweiten Art.

Das Glied

$$\frac{3r^2L}{\varrho^3}\,\text{Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta. \text{ Sin. v. Cos. v. Cos. } (nt + \pi - \psi),$$

läſst sich so darstellen, daſs v und ψ als bekannte Functionen von t erscheinen. Denn da die Declination v leicht durch den Abstand vom Durchschnittspuncte des Aequators mit der Bahn des anziehenden Körpers, also, da dieser Knoten hier als ruhend angesehen werden kann, durch die Rectascension ψ dargestellt wird, diese aber sich ungefähr der Zeit proportional ändert, so läſst sich jener Ausdruck in eine Reihe von Gliedern von der Form α k Sin. ϑ Cos. ϑ Cos. $(i\,t + \pi - A)$ entwickeln, in welcher, wegen der langsamen Bewegung der Himmelskörper in Vergleichung gegen die Umdrehung der Erde, i, wenig von n verschieden ist.

Um nun in Beziehung auf unsern Werth von V' die Gleichungen M und N zu integriren, wollen wir

$$y = a \text{ Cos. } (it + \pi - A),$$
$$u = b \text{ Cos. } (it + \pi - A),$$
$$v = c \text{ Sin. } (it + \pi - A),$$
$$y - \frac{V'}{g} = a' \text{ Cos. } (it + \pi - A)$$

setzen, wo a, b, c und a' rationale Functionen von Sin. ϑ und Cos. ϑ bedeuten. Unter diesen angenommenen Werthen ist bloſs der für y angenommene anscheinend willkürlich; der für $y - \frac{V'}{g}$ findet wegen der eben angeführten Bedingungen von selbst statt, wenn der für y richtig ist, und u, v sind so an y geknüpft, daſs die allgemeine Form ihrer Werthe mit der für y zugleich gegeben ist. Dies erhellt aus der Gleichung M, die, weil ϑ und π sich unabhängig von einander ändern, sich in zwei Gleichungen zerlegt, nämlich

$$r^2\left(\frac{d^2u}{dt^2}\right)-2nr^2\,\text{Sin.}\,\vartheta\,\text{Cos.}\,\vartheta\left(\frac{dv}{dt}\right)=\left(\frac{dV'}{d\vartheta}\right)-g\left(\frac{dy}{d\vartheta}\right);$$

und

$$r^2\,\text{Sin.}^2\vartheta.\left(\frac{d^2v}{dt^2}\right)+2nr^2\,\text{Sin.}\,\vartheta\,\text{Cos.}\,\vartheta\left(\frac{du}{dt}\right)=\left(\frac{dV'}{d\pi}\right)-g\left(\frac{dy}{d\pi}\right).$$

Wenn nun hier in der letzten Gleichung, nach dem Gleichheitszeichen, kein anderer von π abhängiger Factor vorkommt, als Sin. $(it+\pi-A)$, so muſs eben dieser Factor sich auch als der einzige von π und t abhängende in dem finden, was vor dem Gleichheitszeichen steht, und deshalb müssen u und v die angenommenen Werthe haben. Hieraus erhellet aber auch, wie man voraus sehen konnte, daſs die für y angenommene Form einen Genüge thuenden Werth gebe. Hierbei ist denn auch noch die Bemerkung zu erwähnen, daſs es nicht nothwendig ist, das vollständige Integral unserer Gleichungen zu finden, sondern daſs ein bloſs Genüge thuender Werth zureicht. Der vollständige Werth müſste nämlich zwei unbestimmte Functionen enthalten, deren Werth vom anfänglichen Zustande des Flüssigen abhängen würde; aber gewiſs ist in den Erscheinungen der jetzigen Oscillationen nichts mehr von dem kenntlich, was von dem anfänglichen Zustande abhing, und es kommt daher auf jene Functionen gar nicht an.

Die Gleichung N läſst sich so ausdrücken:

$$y=+\left(\frac{d.\,\gamma\,u\,\text{Sin.}\,\vartheta}{d.\,\text{Cos.}\,\vartheta}\right)-\left(\frac{d.\,\gamma\,v}{d\,\pi}\right),$$ also nun durch:

$$a=+\left(\frac{d.\,\gamma\,b\,\text{Sin.}\,\vartheta}{d\,\text{Cos.}\,\vartheta}\right)-\gamma\,c,$$ wenn man γ als von π unabhängig annimmt, also nur den Fall betrachtet, wo die sphäroidische Wasserschicht eine bloſs von der geographischen Breite abhängige Tiefe hat.

In den beiden aus der Gleichung M hervorgegangenen Gleichungen sollte man eigentlich darauf Rücksicht nehmen, daſs i von n verschieden ist, und sollte die verschiedenen Glieder nachher in eins vereinigen; aber um hier nur die Hauptzüge der Theorie zu verfolgen, will ich es ansehen, als ob $n=i$ wäre, was immer beinahe statt findet, da die eigene Bewegung des Gestirns gering ist. Dann würden jene zwei aus M hervorgegangenen Gleichungen mit Hülfe der für u, v, angenommenen Werthe

$r^2 b + 2 r^2 c \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta = + \frac{g}{n^2}\left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right)$; und

$r^2 c \text{ Sin.}^2 \vartheta + 2 r^2 b \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta = - \frac{g a'}{n^2}$; geben, also

$$b = \frac{g}{n^2 r^2} \left(\frac{\left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right) + \frac{2 a' \text{ Cos. } \vartheta}{\text{Sin. } \vartheta}}{(1 - 4 \text{ Cos.}^2 \vartheta)} \right), \text{ und}$$

$$c = \frac{-g}{n^2 r^2 \text{ Sin.}^2 \vartheta} \left(\frac{a' + 2 \left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right) \text{ Cos. } \vartheta \text{ Sin. } \vartheta}{1 - 4 \text{ Cos.}^2 \vartheta} \right),$$

oder wenn man hier auch der Grösse a die Form Q Sin. ϑ Cos. ϑ giebt und Q als unabhängig von ϑ ansieht, wo dann $a' = \left(Q - \frac{k}{g}\right)$ Sin. ϑ Cos. ϑ ist, wird

$b = -\left(\frac{Q g - k}{n^2 r^2}\right)$; dadurch aber geht die Gleichung

$a = + \left(\frac{d. (\gamma. b. \text{ Sin. } \vartheta)}{d \text{ Cos. } \vartheta}\right) - \gamma c$, weil b von ϑ unabhängig ist, in

$$a = - \frac{\gamma b \text{ Cos. } \vartheta}{\text{Sin } \vartheta} - \gamma c - b \left(\frac{d \gamma}{d \vartheta}\right),$$

$a = - b \left(\frac{d \gamma}{d \vartheta}\right)$ über, weil $- \frac{b \text{ Cos. } \vartheta}{\text{Sin. } \vartheta} - c = 0$ ist.

Hier erhellt also, daſs man $a = 0$ erhalten würde, wenn man γ als unabhängig von ϑ ansähe, oder daſs die Schwankungen der zweiten Art ganz verschwänden, wenn der Erdkern überall gleich tief mit Wasser bedeckt wäre. Dieses würde wenigstens sehr nahe der Fall seyn, da unsre Voraussetzung $i = n$, nicht viel von der Wahrheit entfernt ist. Denken wir uns einen sphäroidischen Erdkern, den das sphäroidische Meer bedeckt, so können wir für einen solchen Körper $\gamma = l (1 - q \text{ Cos.}^2 \vartheta)$ setzen, und q als von ϑ unabhängig ansehen; dann würde $a = Q \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta = - 2 b l q \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta$

also $Q = \frac{2 l k q}{2 l g q - n^2 r^2}$

und da wir nun aus leicht erhellenden Gründen für k wieder $\frac{3 r^2 L}{\varrho^3}$ Sin. v. Cos. v setzen dürfen, da es so gut ist, als ob

wir v und ϱ gar nicht als von t abhängig angesehn hätten, so ist die Gröfse der zweiten Oscillation durch

$$\frac{6\,L\,r^2\,l\,q}{\varrho^3}\left\{\frac{\text{Sin. v. Cos. v Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta \text{. Cos. } (nt+\pi-\psi)}{2\,l\,g\,q - r^2\,n^2}\right\}$$

ausgedrückt und u, v ebenfalls bestimmt.

Hieraus erklärt sich, wie LAPLACE bemerkt, die sehr nahe Gleichheit der Fluthen, die statt finden, wenn das Gestirn ein Mal über, das andre Mal unter dem Horizonte ist; denn wenn l q sehr klein ist, so müssen diese Oscillationen sehr geringe werden, so wie sie es in unsern Meergegenden wirklich sind.

25. Oscillationen der dritten Art.

Sie hängen von dem Gliede

$\frac{3}{4} \cdot \frac{r^2\,L}{\varrho^3}$ Sin.$^2\,\vartheta$ Cos.^{2} v. Cos. $(2nt+2\pi-2\psi)$, ab, und da wir schon wissen, dafs man um die Oscillationen der zweiten Art so klein zu erhalten, als sie wirklich sind, γ beinahe als überall gleich ansehen mufs, so wollen wir γ constant $=1$ setzen. Setzen wir nun

$$y = a \text{ Cos. } (2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,\psi),$$

$$y - \frac{V'}{g} = a' \text{ Cos. } (2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,\psi),$$

also $$\alpha\,a' = \alpha\,a - \frac{3\,r^2\,L}{4\,\varrho^3\,g} \text{ Sin.}^2\,\vartheta \text{ Cos.}^2\,v,$$

$$u = b \text{ Cos. } (2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,\psi),$$

$v = c$ Sin. $(2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,\psi)$, so könnten wir, ganz dem vorigen Verfahren analog fortrechnen; aber die Formeln werden hier einfacher, wenn man alles auf Sin. $\vartheta = x$ zurückführt, wo dann die beiden aus M hergeleiteten Gleichungen geben

$$4\,n^2\,r^2\,b + 4\,n^2\,r^2\,c\,x\,\gamma\,(1-x^2) = g\,\gamma\,(1-x^2)\left(\frac{d\,a'}{d\,x}\right);$$

$$4\,n^2\,r^2\,c\,x^2 + 4\,n^2\,r^2\,b\,x\,\gamma\,(1-x^2) = -\,2\,g\,a';$$

$$b = \frac{g\,\gamma\,(1-x^2)\left(\frac{d\,a}{d\,x}\right)}{4\,n^2\,r^2\,x^2} + \frac{2\,g\,a'\,\gamma\,(1-x^2)}{4\,n^2\,r^2\,x^3}$$

$$c = \frac{-\,2\,g\,a'}{4\,n^2\,r^2\,x^4} - \frac{g\,(1-x^2)\left(\frac{d\,a'}{d\,x}\right)}{4\,n^2\,r^2\,x^3}.$$

Wir hatten aber

$$y = +\left(\frac{d.\,\gamma\,u\,\text{Sin.}\,\vartheta}{d.\,\text{Cos.}\,\vartheta}\right) - \left(\frac{d.\,\gamma\,v}{d\,\pi}\right),$$ also jetzt

$$\frac{a}{l} = -\left(\frac{d\,b}{d\,x}\right)\gamma\,(1-x^2) - \frac{b\,\gamma\,(1-x^2)}{x} - 2\,o$$

oder endlich

$$0 = \alpha x^2(1-x^2)\left(\frac{d^2 a}{d\,x^2}\right) - \alpha\,x\left(\frac{d\,a}{d\,x}\right) + \frac{6\,r^2 L\,x^2\,\text{Cos.}^2 v}{g\,\varrho^3}$$
$$+ \alpha\,a\left(2\,x^2 - 8 + \frac{4\,n^2\,r^2\,x^4}{g\,l}\right).$$

Diese Gleichung läſst sich nun auflösen, indem man $\alpha\,a = A\,x^2 + B\,x^4 + C\,x^6 +$ etc. setzt. Dadurch findet man $A = \frac{1}{4}\,\frac{r^2\,L\,\text{Cos.}^2\,v}{g\,\varrho^3}$; aber B bleibt, wenn man die Coefficienten von x^4 gleich setzt, unbestimmt, und muſs erst dadurch gefunden werden, daſs man die folgenden Glieder betrachtet, die $\frac{B}{A} = \frac{\frac{2\,n^2\,r^2}{g\,l}}{5 - 8.\frac{C}{B}}$

$\frac{C}{B} = \frac{2\,n^2\,r^2}{g\,l\left(7 - 10.\frac{D}{C}\right)}$ und so weiter geben; hieraus erhält man B in einen Kettenbruch verwandelt und dann auch die übrigen Coefficienten.

Diese Oscillationen der dritten Art hängen also von der Tiefe des Meeres ab, und würden selbst auf einer ganz mit Wasser bedeckten Erde sehr verschieden seyn, je nachdem die Wasserschicht mehr oder minder tief ist. Diese Ungleichheit ist so groſs, daſs zum Beispiel für $l = \frac{1}{722,5}\,r$, welches $= 0,4\,\frac{n^2\,r^2}{g}$ ist, die ganze Fluthhöhe unter dem Aequator bei Neumond und Vollmond 34 Fuſs 3 Zoll, bei doppelt so groſser Tiefe dagegen 5 Fuſs 10 Zoll wird. Wenn die Tiefe des Meeres gröſser angenommen wird, so nimmt die Fluthhöhe ab, aber die Grenze dieser Abnahme ist diejenige Höhe $= 36,4$ Zoll, welche statt fände, wenn das Meer in jedem Augenblick die Gestalt des Gleichgewichts annähme.

Vergleichung der Theorie mit der Beobachtung.

26. Die schönen, lange fortgesetzten Beobachtungen, welche im Anfange des vorigen Jahrhunderts in Brest angestellt waren, gaben LAPLACE schon im 4. Buche der Méc. céleste Gelegenheit, die Theorie mit der Erfahrung zu vergleichen; aber noch bessere Vergleichungen haben sich später dargeboten, da seit 1806 die Beobachtungen in Brest auf das sorgfältigste fortgesetzt werden. Diese neuen Vergleichungen sind vorzüglich darauf gerichtet, die Verschiedenheiten kennen zu lernen, welche die Fluthen, deren Periode ungefähr ein halber Tag ist, darbieten. LAPLACE macht über die Zusammenstellung der dazu auszuwählenden Beobachtungen folgende Bemerkung.

Wenn [1] man die Gesetze dieser Oscillationen aus den Beobachtungen kennen lernen will, so muſs man nur die Höhe der *einen* Fluth über eine der nächsten Ebben in Betrachtung ziehen, da nach jedem vollen Tage die Oscillationen der zweiten Art dieselben oder nahe dieselben sind; man muſs ferner gleich viele Fluthen, die mit den Syzygien und mit den Quadraturen der beiden Aequinoctien und der beiden Solstitien verbunden waren, in Betrachtung ziehen, um den Einfluſs der ungleichen Declinationen als aufgehoben ansehen zu können; und um auch den Einfluſs zu beseitigen, den die ungleiche Entfernung des Mondes von der Erde hat, muſs man um jedes Aequinoctium oder Solstitium drei Syzygien nehmen und den Werth des mittleren verdoppeln, weil der Mond allemal bei zwei auf einander folgenden Syzygien in gerade entgegengesetzten Beziehungen in Hinsicht auf seine Annäherung zur Erde oder Entfernung von der Erde ist. Nach diesen Regeln hat BOUVARD unter LAPLACE's Leitung die von 1807 bis 1822 in Brest angestellten Beobachtungen zusammengestellt, und folgende Mittelzahlen gefunden.

I. Bei *den Aequinoctial-Springfluthen*, steigt die Nachmittagsfluth über die Früh-Ebbe am Tage vor dem Syzygium 5,546 Meter.
am Tage des Syzygii 6,094
am ersten Tage nachher 6,387,

---

1 Méc. cél. Livre V. chap. 2. 3.

am zweiten Tage nachher 6,343 Meter.
dritten — — 6,081.
vierten — — 5,491.

Um diese Beobachtungen und so auch die folgenden in einer, alle umfassenden Formel auszudrücken, nimmt LAPLACE an, daſs die Höhe der vollen Fluth durch $\alpha - \beta\,(t-y)^2$ dargestellt werde, wo also α die Höhe der höchsten Fluth über den Mittelstand des Wassers bedeutet, t ist die Zeit nach dem Syzygio und y die Zeit, um welche die stärkste Wirkung der Gestirne dem Syzygio folgt. Dann muſs die tiefste Ebbe, welche irgend einer Fluth um $\frac{1}{4}$ Tag vorangeht, durch $-\alpha + \beta\,(t-y-\frac{1}{4})^2$ dargestellt werden, und die ganze Fluthhöhe ist also $= 2\,\alpha - \frac{\beta}{32} - 2\beta\,(t-y-\frac{1}{8})^2$ die vorigen Beobachtungen geben nun, wenn man Rücksicht darauf nimmt, daſs die Fluth am Tage der Syzygien im Mittel nicht genau mit dem Syzygio selbst zusammentraf $2\,\alpha = 6{,}4046$, $2\,\beta = 0{,}1412$.

Die Beobachtungen werden daher durch
$6{,}4024 - 0{,}1412\,(t-1{,}605)^2$ dargestellt, und $1{,}605 - \frac{1}{8} = 1{,}480$ ist die Zeit der stärksten Wirkung der Gestirne in Brest nach den Syzygien, die höchste Fluth tritt 1,611 Tag nach dem Neu- oder Vollmond ein, und ist $= 6{,}402$ Meter. Alles hier in Beziehung auf die Aequinoctial-Springfluthen.

Für die Quadraturen gelten nachher ähnliche Formeln, nur ist da die täglich mehr zunehmende Höhe der Fluth $= \alpha + \beta\,(t-y)^2$, der Ebbe $= -\alpha - \beta\,(t-y+\frac{1}{4})^2$, wenn die Höhe der Fluth über der *nächst folgenden* Ebbe beobachtet ist, also die ganze Fluthhöhe $= 2\,\alpha + \frac{\beta}{32} + 2\beta\,(t-y+\frac{1}{8})^2$. Dieses Gesetz des Wachsens, dem Quadrate der Zeiten gemäſs, kann aber nur auf die dem Maximum oder Minimum nächsten Tage angewandt werden.

II. *Die Solstitial-Springfluthen* geben folgende Höhe der Nachmittagsfluth über die Früh-Ebbe:

am Tage vor den Syzygien 5,042. Meter
am Tage der Syzygien 5,398.
am ersten Tage nachher 5,583.
am zweiten — — 5,569.
am dritten — — 5,398.
am vierten — — 5,069.

Die Formel $5{,}5956 - 0{,}0866\,(t - 1{,}672)^2$ stellt diese Beobachtungen mit Rücksicht auf den Umstand dar, daſs das Syzygium im Mittel nicht mit der Zeit der höchsten Fluth zusammentraf, und die vollständigste Wirkung tritt bei den Solstitien 1,547 Tage nach den Syzygien ein.

Die Vergleichung dieses Resultates mit dem vorigen zeigt den Einfluſs der Declinationen der Gestirne, indem die Springfluthen nur 5,6 Meter sind, wenn Mond und Sonne so ziemlich ihre gröſsten Declinationen haben, dagegen 6,4 Meter, wenn beide dem Aequator nahe sind. Dieser Unterschied ist so bestimmt auffallend, daſs wenn man auch nur die einzelnen Jahre betrachtet, das Mittel aus den sechs Aequinoctial-Springfluthen selbst desjenigen Jahres, wo es am geringsten ausfällt, noch viel gröſser ist, als das gröſseste unter den Mitteln aus den Solstitial-Springfluthen.

III. *Für die Aequinoctial-Nippfluthen* sind die Unterschiede zwischen der Morgenfluth und der Nachmittags-Ebbe genommen. Hier sind nur vier Tage aufgeführt, weil bei entfernteren Tagen das Gesetz, daſs die Höhen ein den Quadraten der Zeit folgendes Gesetz haben, hier, wo die Aenderungen stärker sind, nicht mehr anwendbar seyn möchte.

Die mittlere ganze Fluthhöhe war am Tage der Quadratur = 3,079 Meter

einen Tag nachher = 2,438.
zwei Tage nachher = 2,446.
drei — — = 3,095.

Die Formel ist $2{,}3610 + 0{,}323\,(t - 1{,}3846)^2$ und die geringste Fluth ist also 1,509 Tage nach der Quadratur nur 2,36 Meter hoch.

IV. Eine gleiche Betrachtung der *Solstitial-Nippfluthen* ergiebt: die Höhe am Tage der Quadratur 3,447 Meter

1 Tag nachher 3,163.
2 Tage — 3,143.
3 Tage — 3,425.

Das Minimum dieser Fluthen trifft daher 1,513 Tage nach der Quadratur und ist = 3,117 Meter. Die Formel ist $3{,}117 + 0{,}141 \cdot (t - 1{,}388)^2$; das Minimum der Fluthen folgt also fast genau eben so lange nach den Quadraturen als das Maximum nach den Syzygien.

Auch hier zeigt sich der Einfluſs der Declination der Ge-

stirne, welche bei den Solstitien die Nippfluthen nicht zu der Kleinheit gelangen läfst, die sie bei den Aequinoctien haben, weil bei den Aequinoctial-Nippfluthen die Wirkung des Mondes, als des am meisten wirkenden Körpers, durch seine starke Declination vermindert wird, statt dafs sie bei den Solstitialquadraturen, wo der Mond sich ungefähr im Aequator befindet, mächtiger ist.

27. Die theoretischen Untersuchungen setzten die Erde als ganz bedeckt vom Wasser voraus und ihnen zu Folge müfste die Zeit der Fluth in einer genauen Uebereinstimmung mit der Culmination des Gestirns stehen. Da aber auf der Erde die Fortpflanzung der Bewegung des Meeres offenbar durch die Unregelmäfsigkeit der Ufer und Begrenzungen desselben gestört wird, so läfst sich leicht einsehen, dafs der Factor $\text{Cos.}\,(2nt + 2\pi - 2\psi)$ die Form $\text{Cos.}\,(2nt - 2\pi - 2\psi - 2\lambda)$ haben und λ für jeden Ort einen andern Werth erhalten wird.

Laplace zeigt in seinen neuern theoretischen Untersuchungen, dafs man, wenn für die Declination der vermittelst des Fortrückens in der Bahn ausgedrückte Werth gesetzt wird, folgendes als den Ausdruck für die Kräfte, welche Oscillationen, deren Periode ungefähr ein halber Tag ist, bewirken, finde:

$$\frac{AL}{r^3}\,\text{Cos.}^4\,\tfrac{1}{2}\,\varepsilon\,\text{Cos.}\,(2nt + 2\pi - 2mt - 2\lambda)$$

$$+ \tfrac{1}{4}\,\frac{BL}{r^3}\,\text{Sin.}^2\,\varepsilon\,\text{Cos.}\,(2nt + 2\pi - 2\gamma);$$ hier ist der Halbmesser der Erde $= 1$, die Entfernung der Sonne $= r$, die Masse der Sonne $= L$, die Neigung ihrer scheinbaren Bahn gegen den Aequator $= \varepsilon$; ϑ das Complement der Breite des Ortes; $nt + \pi$ der Stundenwinkel des Aequinoctialpunctes oder allgemein des Punctes, wo die Bahn des Gestirns den Aequator schneidet; mt ist die mittlere Bewegung der Sonne. Die Wirkung des Mondes würde durch zwei ganz ähnlich gebildete Glieder ausgedrückt, in denen r', L', ε' und so ferner in Beziehung auf den Mond eben das bedeuten, wie r, L, ε in Beziehung auf die Sonne. Die vier constanten Gröfsen A, B, λ, γ müssen aus den Beobachtungen bestimmt werden, und die Formel für die Wirkung des Mondes scheint neue vier constante Gröfsen A', B', λ', γ' herbeizuführen. Aber da das zweite Glied von der Schnelligkeit der eignen Bewegung des Gestirns unabhängig ist, und der Durchschnittspunct des Aequators mit

der Mondsbahn ohne Bedenken als ruhend angesehen werden kann, so kann man $B' = B$ und $\gamma' = \gamma + \delta$ setzen, wenn δ die Rectascension des Knotens der Mondsbahn und des Aequators ist, das heifst, man darf annehmen, dafs derjenige Theil der Fluth, der von dem Fortrücken des Gestirns auf seiner Bahn unabhängig ist, bei beiden Gestirn gleich sehr verzögert und auch bei beiden in gleichem Mafse durch Localitäten verstärkt oder geschwächt wird. So sind also noch sechs Constanten A, A', B, λ, λ' und γ aus den Beobachtungen zu bestimmen. Man darf ferner wagen, diese so an einander zu knüpfen, dafs man $A = (1 + m\,x)\,B$, $A' = (1 + m'\,x)\,B$, $\lambda = \gamma - m\,y$, $\lambda' = \gamma - m'\,y$ setzt; die Beobachtungen zeigen, dafs diese Voraussetzung sehr nahe der Wahrheit gemäfs ist, und es brauchen also nun nur vier Gröfsen B, γ und x, y aus den Beobachtungen hergeleitet zu werden.

Da in diesen Formeln das Glied, welches von $m\,t$ unabhängig ist, denjenigen Theil der Wirkung ausdrückt, die statt fände, wenn das Gestirn nach einer ganzen Rotation der Erde wieder im Meridiane stände, oder gar nicht am Himmel fortrückte, so erhellet leicht, dafs die eigene Bewegung zur Vermehrung der Fluth beiträgt, wenn $A > B$ ist: denn man darf annehmen, dafs für $m = 0$, $A = B$ seyn würde.

Unter den vier Gröfsen B, γ, x, y läfst sich aber noch die eine y durch eine der Wahrheit nahe kommende Betrachtung wegschaffen. Es erhellet nämlich leicht, dafs wegen des ziemlich kleinen Factors $\text{Sin.}^2\,\varepsilon$, das erste Glied in unserer Gleichung das bedeutendste ist, dafs also die Zeit der Fluth vorzüglich vom ersten Gliede abhängt; für die Zeit der vollen Fluth mufs also $2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,m\,t - 2\,\lambda$ wenig von einem geraden Vielfachen des ganzen Umfangs abweichen, und bei den Syzygien mufs dieses zugleich auch für den Mond oder für $2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,m'\,t - 2\,\lambda'$ statt finden. Hierdurch finden sich Mittel, die Zahl der zu bestimmenden Gröfsen noch um eine zu vermindern, und wenn man dann die sehr unbedeutenden Glieder wegläfst und die Glieder, die sich in einem Mittel aus vielen Beobachtungen, als bald + bald — werdend compensiren, wegläfst, so erhält man aus einer Anzahl von i Beobachtungen folgende Formeln, in welchen P die Summe aller $\text{Cos.}^2\,v$ in den Aequinoctial-Syzygien, Q die Summe aller $\text{Cos.}^2\,v$ in den Solstitial-Syzygien, $P_{\prime}$ die Summe aller

Cos.^{2} v in den Aequinoctial-Quadraturen, Q, die Summe aller Cos.^{2} v in den Solstitial-Quadraturen in Beziehung auf v = Declination der Sonne bedeuten, und P'; Q'; P',; Q', eben die Bedeutung in Beziehung auf den Mond haben; — der Factor 1 + 0,02734 bei den Syzygien und 1 — 0,02734 bei den Quadraturen entsteht durch die Rücksicht auf die unter dem Namen Variation des Mondes bekannte Ungleichheit seiner Bewegung.

Für die Aequinoctial-Syzygien

$$2 i \alpha = 2 \frac{A L P}{r^3} + 2 A'. 1{,}02734 \frac{L' P'}{r'^3}$$

$$- (A - B) \frac{L}{r^3}(P - Q) - (A' - B)\, 1{,}02734 \frac{L'}{r'^3}(P' - Q');$$

für die Solstitial-Syzygien

$$2 i \alpha = 2 \frac{A L}{r^3} Q + 2 A'. 1{,}02734 \frac{L'}{r'^3} Q'$$

$$+ (A - B)\frac{L}{r^3}(P - Q) + (A' - B)\, 1{,}02734 \frac{L'}{r'^3}(P' - Q');$$

für die Aequinoctial-Quadraturen

$$2 i \alpha = 2 A'. 0{,}97266 \frac{L'}{r'^3} Q'_{,} - 2 A \frac{L}{r^3} P_{,}$$

$$+ (A' - B)\, 0{,}97266 \frac{L'}{r'^3}(P'_{,} - Q'_{,}) + (A - B)\frac{L}{r^3}(P_{,} - Q_{,});$$

für die Solstitial-Quadraturen,

$$2 i \alpha = 2 A'. 0{,}97266 \frac{L'}{r'^3} P'_{,} - 2 \frac{A L}{r^3} Q_{,}$$

$$- (A' - B)\, 0{,}97266 \frac{L'}{r'^3}(P'_{,} - Q'_{,}) - (A - B)\frac{L}{r^3}(P_{,} - Q_{,}).$$

r' ist die mittlere Entfernung des Mondes. Diese Formeln mit den Mitteln aus den Beobachtungen verglichen, geben, wenn $A = (1 + m x) B$, $A' = (1 + m' x) B$ gesetzt wird, $m' x = 0{,}25291$; $\frac{2 B. L'}{r'^3} = 3{,}79491$ und $\frac{2 B L}{r^3} = 1{,}612572$, also $\frac{L'}{r'^3} : \frac{L}{r^3} = 2{,}35333 : 1$ und daraus die Masse des Mondes $= \frac{1}{74{,}946}$ der Erdmasse. Man kann dann auch den Werth von β (in No. 26. I. II. III. IV) finden, und dieser ergiebt sich aus den Formeln sehr nahe der Erfahrung gemäfs, nur bei den

Solstitial-Syzygien und bei den Aequinoctial-Quadraturen etwa um $\frac{1}{10}$ zu groſs.

28. Eine ähnliche Vergleichung der Theorie mit den Beobachtungen stellt LAPLACE in Beziehung auf die in der Erdnähe und in der Erdferne angestellten Beobachtungen an. Die Aequinoctial-Syzygien, bei denen sich der Mond in der Erdnähe befand, gaben den Werth von $2\,\alpha = 7{,}209$, für die Erdferne $2\,\alpha = 5{,}580$.

Die Theorie dagegen giebt mit Hülfe der vorhin schon bestimmten Constanten den Unterschied dieser Zahlen 1,77, statt daſs die Beobachtung 1,63 giebt und LAPLACE wagt nicht zu entscheiden, ob diese Differenz der Unsicherheit der Beobachtungen zuzuschreiben sey, oder von den nicht ganz vollkommen richtigen Voraussetzungen und den unvollkommenen Approximationen der Theorie abhänge.

LAPLACE vergleicht ferner die Zeit der höchsten Fluth und tiefsten Ebbe nebst der täglichen Verzögerung mit der Theorie. Die Beobachtung gab: Zeit des niedrigsten Wassers am ersten Tage nach den Aequinoctial-Syzygien $10^h\ 12'$ Morg., am zweiten Tage $10^h\ 50'$ Morg. Zeit des höchsten Wassers am ersten Tage nach den Aequinoctial-Syzygien $4^h\ 21'$ Ab. am zweiten Tage $4^h\ 58'$ Ab. Eben die vier Bestimmungen bei den Solstitial-Syzygien $10^h\ 11'$ Morg.; $10^h\ 52'$ Morg., $4^h\ 20'$ Ab.; $5^h\ 1'$ Ab.

Bei den Aequinoctial-Quadraturen war Zeit des höchsten Wassers am ersten Tage nach der Quadratur $9^h\ 30'$ Morg. am zweiten Tage $10^h\ 52'$ Morg. Zeit des tiefsten Wassers am ersten Tage nach der Quadratur $3^h\ 48'$ Ab. Am zweiten Tage $5^h\ 12'$ Ab. Eben die Bestimmungen bei den Solstitial-Quadraturen $9^h\ 39'$ Morg. $10^h\ 46'$ Morg.; $3^h\ 57'$ Ab; $5^h\ 4'$ Ab.

Die Einwirkung der Declinationen auf die Verzögerung der Fluthzeit ist deutlich sichtbar, wenn sie gleich in Beziehung auf die Aequinoctial- und Solstitial-Syzygien nur wenig beträgt. Dieses so wie die vermehrte tägliche Verzögerung der Fluth, wenn der Mond sich in der Erdnähe befindet, ist der Theorie gemäſs; aber dennoch findet LAPLACE, bei einer sorgfältigen Prüfung der Beobachtungen eine kleine Abweichung von der Theorie, die vielleicht andeuten könnte, daſs das Princip der Coexistenz der verschiedenen Oscillationen nicht strenge richtig wäre. Diese Abweichung besteht

darin, dafs, wenn man die Zeit der Sonnenfluth aus den Viertelmondsfluthen ableitet, man sie um 13¼ Min. früher findet, als wenn man die Zeit der Sonnenfluth aus den Neu- und Vollmondsfluthen ableitet. —

Ich mufs die übrigen Vergleichungen, die kein ganz entschiedenes Resultat geben, weil die zu bestimmenden Gröfsen allzu unbedeutend sind, übergehen, und glaube auch, dafs das Bisherige hinreicht, theils um zu ähnlichen Vergleichungen für andere Orte aufzufordern, theils zu zeigen, was eigentlich mathematische Prüfung einer Theorie heifst, und wie nur diejenigen Theorien, die zu einer solchen Prüfung Veranlassung geben, den Namen festbegründeter Theorien verdienen.

Nachrichten von einzelnen Merkwürdigkeiten, welche die Fluth an verschiedenen Orten darbietet.

29. Da schon die Theorie angiebt, dafs die täglich zweimal wiederkehrende Ebbe und Fluth selbst auf einer ganz und überall gleich tief von Wasser bedeckten Erde sehr ungleich ausfallen würde, je nachdem diese Wasserschicht mehr oder minder tief wäre, so läfst sich leicht erachten, dafs eine grofse Ungleichheit der Fluthen auf unserer so ganz unregelmässig mit Wasser bedeckten Erde, an verschiedenen Orten statt finden mufs. Laplace bemerkt, es möchten wohl, wenn man alle Länder durchginge, sich alle mögliche Verschiedenheiten finden. Ich kann von diesen mannigfaltigen Erseheinungen, deren sich gewifs aus Reisebeschreibungen viele sammeln liefsen, nur einige wenige erzählen.

Im grofsen Südmeere (stillen Meere) ist bei den Societäts-Inseln die Fluth geringe, nach Cook bei Otahaiti nur 1 Fufs [1]. Bei den Sandwich-Inseln 2 Fufs 6 Zoll. Dagegen an den Küsten von Neu-Seeland an einigen Orten 5, an andern 10 Fufs bei Springfluthen; in der Strafse zwischen Neuguinea und Neuholland 11 Fufs. Auf den freundschaftl. Inseln soll sie 6 Fufs steigen; in Macao 10 Fufs [2].

Im Atlantischen Meere steigt sie bei der Insel St. Helena 39 Zoll bei Springfluthen, 20 Zoll bei Nippfluthen nach Maskelyne, bei den Canarischen Inseln 7 bis 8 Fufs, bei den Azo-

1 Phil. Transact. 1772. p. 357.

2 Woltmann's Schifffahrtskunde S. 221. 224.

ren 5 bis 8 Fuſs; an den Küsten von America ist fast ein eben so ungleiches Steigen der Fluth wie in Europa, denn während die Fluth in Charlestown 6 Fuſs, in Rio Janeiro 8 Fuſs, bei der Insel Martinique nur 1¼ Fuſs steigen soll, wird sie doch am St. Johns Fluſs zu 24 Fuſs, an der Mündung des Amazonenflusses zu 30 Fuſs angegeben. Am östlichen Ufer des atlantischen Meeres scheint die französische und englische Küste am merkwürdigsten zu seyn. Bei Brest und Cap Lizard steigt die Fluth bei Springfluthen 18 bis 19 Fuſs, ziemlich ebenso hoch soll sie in Falmouth und Plymouth und an der ganzen südlichen Küste Englands steigen; dagegen steigt sie bei der Insel Guernsey 32 Fuſs, bei der Insel Jersey 38 Fuſs, bei St. Malo 46 Fuſs (ja nach einigen Angaben über 60 Fuſs) [1] aber bei Cherboury wieder nur 20 Fuſs, bei Dieppe 18 Fuſs, bei Boulogne und Calais 18 bis 19 Fuſs. Dieses merkwürdige Anschwellen scheint von nichts anderem herzurühren, als von dem Einengen der groſsen aus dem Meere hereindringenden Fluthwelle, die gerade bei St. Malo in einen Winkel zusammengedrängt wird.

Eine eben so ungemeine Höhe erreicht die Fluth in dem Busen, in den die Saverne sich ergieſst; denn statt daſs sie bei Cap Lizard nur 18 Fuſs, bei St. Iver 22 Fuſs steigt, erreicht sie bei Barnstable 26 Fuſs Höhe und bei Milford-Haven 36 Fuſs, vor der Saverne bei Hung sogar 45 Fuſs [2]. Auch hier drängt sich die Fluthwelle, die von Süden in den Canal zwischen England und Irland eintritt, gegen ein gerade widerstehendes Ufer und befindet sich also in ähnlichen Umständen, wie bei St. Malo. Sobald man über diese vorspringende Küste hinaus mehr nördlich geht, so ist die Fluth in Cardigan-Bay nur 20 Fuſs u. s. w. [3] Auch die Küste von America bietet ein solches Beispiel dar, indem [4] an der Küste von Acadien das Merr bei Springfluthen nur 9 Fuſs steigt, dagegen

---

1 Mém. de Paris. 1702. Hist. p. 19.

2 Philos. Transact. 1668. p. 812.

3 Wo ich hier keine andre Quelle anführe, habe ich aus Woltmann's Handb. der Schifffahrtskunde geschöpft, womit noch zu vergleichen ist: Romme Tableaux des vents, des marées, et des courans. Par. 1817. 2 vol. 8.

4 Nach den Angaben der Encyclopédie ou Dictionaire universel. Art. Flux. wo jedoch diese 60 bis 70 Fuſs durch ein: à ce que l'on assure, ein wenig zweifelhaft gemacht sind.

im Hintergrunde der Bay die Fluth 60 bis 70 Fufs Höhe erreichen soll.

Dafs dieses Antreffen an ein gerade entgegen stehendes Ufer die Fluth veranlassen kann, so viel höher zu steigen, scheint mir aus der Beobachtung der Wellen einzuleuchten; denn wenn diese im Freien auch keine sehr erhebliche Höhe haben, so steigen sie an einem steil ihnen entgegen tretenden Einbaue oft bis auf das drei oder vierfache ihrer Höhe, welches ohne Zweifel daher rührt, weil der einmal im Andrängen begriffene Wasserberg sich immerfort heranwälzt, obgleich das Wasser vorne nicht mehr ausweichen kann, wodurch denn diese Anhäufung bewirkt wird.

In der Nordsee vor der Elbe und Weser steigt die Fluth 12 Fufs, bei Helgoland 6 Fufs. In den nördlichen Gegenden ist sie auch noch an manchen Orten bedeutend, zum Beispiel in der Nähe des Nord-Caps, etwa 8 Fufs [1] in der Hudsonsbay 16 Fufs. Im Mittelländischen Meere ist die Fluth wenig bemerkbar. Bei Neapel beträgt sie kaum 1 Fufs; bei Toulon, wenn das Wetter ruhig ist, nach D' Angos Angabe 1 Fufs; in Venedig bemerkt man, wie Toaldo angiebt, regelmäfsig zwei Fluthen, die bei Neu- und Vollmond auf 3 bis 3½ Fufs steigen, bei den Quadraturen kaum 16 Zoll [2].

Ueber das Strömen und Anschwellen des Wassers in der Ostsee, was man wohl nicht eigentlich ein Fluthen und Ebben nennen kann, hat Schulten Beobachtungen angestellt [3]. Dafs ein gegen die Küsten wehender Wind das Wasser steigen macht, scheint ein Hauptumstand zu seyn; Schulten glaubt dieses Steigen sey ein Vorbote eines solchen Windes. Als Hauptursache der ungleichen Höhe sieht er den ungleichen Luftdruck an, dafs nämlich, wenn ein Theil der Ostsee einen hohen Barometerstand, der andre einen niedrigen Barometerstand hat, der letztere Theil sich zu einem höhern Stande erheben mufs, indem das Wasser da ausweicht, wo der Druck am stärksten ist. Genaue Beobachtungen, dafs das Steigen an

---

1 Abh. der Schwed. Acad. XV. S. 176. Encyclopédie ou dict. univ. art. *Flux.*

2 Phil. Transact. 1793. p. 168. v. Zachs Mon. Corr. XXVI. S. 146. Phil. Transact. 1777. p. 144.

3 Gilb. Ann. XXXVI. 314.

den Küsten Schwedens nicht bloſs mit einem niedrigen Barometerstande an eben diesen Küsten, sondern auch mit einem höhern Barometerstande an der deutschen Küste begleitet gewesen sey, führt er indeſs nicht an, und also ist nicht entschieden, ob diese Ursache, die allerdings eine mitwirkende seyn mag, die einzige ist.

30. Auf das allmählige Fortschreiten der Fluth, besonders da, wo enge Zugänge sie aufhalten, habe ich schon oben aufmerksam gemacht. Woltmann's Angaben für die Nordsee sind als ein Beispiel sehr belehrend. Kennten wir die Umstände überall so genau, so würden wir vermuthlich manche uns jetzt räthselhaft vorkommende Phänomene vollständig erklären können. Ein solches Phänomen scheint mir zum Beispiel die ungemein schwache Fluth bei Otahaiti, die so erheblich von den stärkern Fluthen bei den freundschaftlichen Inseln und in andern nahe gelegnen Gegenden verschieden ist. Es läſst sich als möglich denken, daſs an einem Orte gar keine Fluth wäre, wenn dieser Ort seine Fluth durch zwei Canäle erhielte, in deren einem sie nach 6 Stunden, im andern nach 12 Stunden zu jenem Orte gelangte; hätten nämlich dann die Mündungen beider Canäle eine gleichzeitige und gleichhohe Fluth, so würde ungefähr die höchste Höhe der einen Fluthwelle allemal mit der gröſsten Tiefe der andern zusammentreffen und ein fast immer gleich hohes Wasser hervorbringen.

Schwerer zu erklären ist die höchst sonderbare Ordnung der Fluthen in Tonking in Ostindien, die von Davenport und Knox so beschrieben wird [1]. Jede Fluth dauert 12 Stunden und jede Ebbe eben so lange, so daſs es in 24 Stunden nur einmal Hochwasser wird; ferner finden in jedem Monat zwei Unterbrechungen der Fluthen statt, wo nämlich gar keine Fluth bemerkt wird, und zwischen diesen Zeitpuncten, die etwa 14 Tage aus einander sind, erreicht die Fluth am siebenten Tage ihre gröſste Höhe; gleich nach jenen Tagen ohne Fluth ist die Zunahme der Fluthen schwach und gleich vor jenen Tagen ist auch die Abnahme der Fluthen nicht mehr erheblich, sondern die gröſste Aenderung fällt um die Zeit der

1 Phil. Transact. 1684. p. 681. Vergl. auch Mém. de Paris. Tome 7. p. 777. wo von Siam Beobacht. vorkommen.

höchsten Fluthen. Endlich bemerkt man, daſs in der einen Hälfte des Monats der aufgehende Mond, in der andern Hälfte der untergehende Mond die höchste Fluth bringt.

Halley hat diese Beobachtungen sorgfältiger verglichen und giebt an, daſs wenn der Mond im Aequator ist, keine Fluth bemerkt werde, daſs sie also am höchsten steige, wenn der Mond die gröſste Declination hat. Er findet ferner, daſs der in den nördlichen Zeichen stehende Mond bei seinem Erscheinen über dem Horizonte die Fluth bringt, so daſs es höchstes Wasser ist wenn er untergeht, das Umgekehrte findet statt wenn er in dem südlichen Zeichen steht. Wenn die Fluthen ihre gröſste Höhe erreichen, steigt das Wasser 9 Fuſs über das Mittel und fällt 9 Fuſs unter das Mittel. Halley versucht keine Erklärung, macht aber aufmerksam darauf, daſs diese Fluthen wahrscheinlich in den Jahren stärker seyn müssen, wo der Mond sich bis zu 28° vom Aequator entfernen kann, als in den Jahren, wo er kaum 19° Declination erreicht. Laplace bemerkt über diese Erscheinung, daſs die zweimaligen Fluthen am Tage ganz unmerklich werden müſsten, wenn sie von zwei Seiten her einträten und sich so wie ich oben erwähnte, ganz zerstörten; in dem Falle blieben also nur die Oscillationen der zweiten Art übrig, die freilich nach den Formeln verschwinden, wenn die Declination des Mondes $= 0$ ist.

Einigermaſsen hiermit verwandt scheint ein bei den Orkney-Inseln beobachtetes Phänomen zu seyn[1], wo nämlich, an der Westseite von Long-Island, vier Tage vor und nach den Quadraturen zwar das Steigen und Fallen des Wassers ordentlich wechselt, aber der Fluthstrom und Ebbestrom 12 Stunden lang die eine, und die übrigen 12 Stunden die entgegengesetzte Richtung hält, statt daſs in den Tagen um die Syzygien sich mit dem Steigen und Fallen auch die Richtung des Stromes alle 6 Stunden ändert. Auch dies scheint doch auf einem bei den Quadraturen merklicher werdenden Einflusse der täglich nur einmal wiederkehrenden Oscillationen zu beruhen, die freilich hier nicht auf eine kenntliche Weise von den Declinationen des Mondes abzuhängen scheinen[2].

---

1 Phil. Trans. 1665. p. 53.

2 Mir ist nicht bekannt, ob neuere Beobachtungen diese Angaben bestätigt haben.

31. An unsern deutschen Küsten, an der Nordsee, sind die Sturmfluthen merkwürdige, oft Unglück drohende und zuweilen Unglück bringende Ereignisse. Sie sind so deutlich Begleiter der Nordweststürme, daſs man diese wohl unbedenklich als ihre Ursache ansehen kann. Nach der Bemerkung der Bewohner jener Gegend sind die Stürme am gefährlichsten, die von Südwest über Westen nach Nordwest gehen, und sie sind am gefährlichsten dann, wenn sie sehr lange mit ungeschwächter Gewalt dauernd gegen die Zeit des höchsten Wassers mit voller Wuth fortwähren. Diese Winde, am meisten der Nordwestwind, treiben das Wasser gegen die deutschen Ufer und drängen es in die Mündung der Ströme hinein; sie hindern das Wasser, der Ebbe zu folgen und veranlassen daher, daſs das Wasser oft die gewöhnliche Regel der Fluth und Ebbe nicht befolgt, sondern selbst wenn es Ebbe werden sollte, steigt. Die niedrigen Marschländer jener Gegenden sind mit Deichen, deren Höhe 15 bis 20 Fuſs, ja an Stellen, die dem Wellenschlage sehr ausgesetzt sind, bis 24 Fuſs über die mittlere Fluth beträgt, umgeben, aber dennoch ist es nicht selten, daſs die Wellen über diese Dämme hinüberschlagen und das Beispiel des vorletzten Winters hat gezeigt, daſs diese Höhe nicht hinreicht, um selbst ein fortwährendes Ueberströmen zu hindern.

Die Gefahr, die bei diesen Stürmen droht, besteht, selbst wenn das Wasser nicht über die Dämme strömt, darin, daſs die groſse Kraft der Wogen, die selbst Granitblöcke von mehrern Centnern fortwälzt, indem die Wellen überstürzend auf den Abhang des Deiches schlagen, Löcher auswühlt, die endlich zu einem Durchbruche Veranlassung geben können. Dieser Gefahr muſs ein gut angelegter, hoher, starker und hinreichend flach dossirter Deich widerstehen, und seit vielen Jahren ist auf die Art an den deutschen Ufern der Nordsee kein solcher Deichbruch entstanden. Wenn er entsteht, wie es ehemals öfter der Fall gewesen ist, so pflegt das an einer einzelnen Stelle durchströmende Wasser mit so ungeheurer Gewalt den übrigen Theil des Deiches wegzureiſsen, daſs oft ein tief in den festen Boden des Landes selbst eingewühlter See von mehreren Morgen Landes groſs, auch nachdem die Fluth sich wieder verlaufen hat, übrig bleibt. Das so einstürzende Wasser reiſst, wie ein gewaltiger Strom, alles mit sich fort, und bringt gewöhnlich ganze Gegenden in das gröſseste Unglück. Nicht ganz so gefährlich

ist es, wenn die Deiche überall gleichförmig gut und sicher sind, aber die Fluth so hoch steigt, dafs sie ganze Deichstrecken ziemlich gleichmäfsig überströmt, so wie es im vorletzten Winter an manchen Orten geschah, die daher auch weniger gelitten haben. Dann wird zwar auch durch den Uebersturz der obere Theil des Deiches beschädigt, aber wenn der überstürzende Strom überall ziemlich gleich ist, so hat er wenigstens nicht ganz die Gewalt, wie im vorigen Falle, und es ereignet sich dann wohl, weil der ungemein hohe Stand der Fluth doch nicht lange dauert, dafs zwar das Land mit Wasser bedeckt, aber doch theils nicht so hoch und gewaltig überfluthet wird, theils wenigstens gegen die nächsten Fluthen, die bei fortwährend stürmischem Wetter auch noch hoch zu steigen pflegen, ziemlich gedeckt bleibt.

Seit dem Jahre 1717, wo am Weihnachtstage alle Marschen des nördlichen Deutschlands durch eine verheerende Ueberschwemmung furchtbar litten, hatten die Gegenden in der Nähe der Nordsee keine Ueberschwemmung erfahren. Die hohen Fluthen in den spätern Jahren des vorigen Jahrhunderts, unter denen die vom 19. December 1792 und 3. März 1793 (sie stiegen 19 Fufs über die gewöhnliche Fluthhöhe) am meisten wegen der drohenden, aber glücklich abgewandten Gefahr im Andenken sind, hatten, ungeachtet der furchtbaren Wuth des Sturmes, die Deiche nicht überstiegen, und man glaubte schon die Grenze der Fluthhöhe zu kennen und den Fluthen durch hinreichend hohe Dämme genügend entgegengebaut zu haben; aber der seltene Fall, dafs ein ungewöhnlicher Sturm mit den allerschlimmsten Stellungen des Mondes zusammenträfe, hatte sich, so viel man wufste, noch nicht ereignet, und dieser seltene Fall traf am 2. und 3. Februar 1825 ein. An diesen Tagen fielen nämlich Vollmond, Erdnähe des Mondes und beinahe auch Durchgang des Mondes durch den Aequator so nahe zusammen, dafs schon dadurch die Springfluth fast die gröfste mögliche Höhe erreichen mufste; indefs, dieser Fall war nicht unerhört, sondern er trifft im Laufe einiger Jahre nach gewissen Regeln immer von Zeit zu Zeit ein und ereignete sich in den ersten Tagen des März wieder; aber unglücklicher Weise vereinigte sich mit dieser Springfluth ein mit Gewitter begleiteter Sturm von ausgezeichneter Heftigkeit, der die zahlreichen Unglücksfälle zur Folge hatte, welche sich an jenen Tagen an allen

See- und Flufsküsten von Flandern bis nach Holstein ereigneten.

32. Ein noch schnelleres Steigen des Wassers, das aber immer nur wenige Minuten dauern und dann mit starkem Fallen wechseln soll, wird oft bei den Erdbeben beobachtet. Michell führt zum Beispiel[1] an, dafs bei dem fürchterlichen Erdbeben in Lissabon am 1. November 1755 die Sände sich anfangs vom Wasser entblöfst zeigten und dann plötzlich eine 50 Fufs hohe Welle aus dem Meere heranstürzte. Aehnliche, wenn gleich weit geringere, aber gleichfalls schnell wechselnde Schwankungen wurden an dem Tage jenes Erdbebens selbst in sehr entfernten Meeren, an den englischen und holländischen Küsten, ja selbst bis nach America hin wahrgenommen[2]. An den Küsten des Canals stiegen diese schnell wechselnden Schwankungen doch bis auf 6 Fufs.

33. Auch in den Strömen bietet die Fluth manche merkwürdige Phänomene dar. Am Meeresufer theilt sich der Zeitraum zwischen zwei Fluthen ziemlich gleich in Fluth und Ebbe; in den Flüssen dagegen dauert an jedem Orte die Ebbe länger als die Fluth. Der in den Flüssen allemal sehr merkliche Fluthstrom und Ebbestrom ist anfangs, kurz nach dem Wechsel des Stroms langsam und wird gegen die Mitte der Fluth und Ebbe stark, so dafs nach Saumarez[3] in der Themse bei London der Fluthstrom beinahe 5 Fufs, der länger anhaltende Ebbestrom 3½ Fufs in der Secunde zur Zeit der gröfsten Schnelligkeit durchläuft. Höher hinauf in den Strömen verliert sich der Fluthstrom und die Fluth besteht nur noch in einem Aufstauen, oder Anhalten des Ebbestromes.

Je höher man in den Strömen hinauf kommt, desto später kommt die Fluth dort an, daher sagen die Schiffer, wenn sie mit anfangender Fluth stromaufwärts segeln, dafs sie die Fluth mitbringen. Dagegen kommt ein den Strom hinabfahrender Schiffer, der mit der Ebbe fährt, der Fluth entgegen und geniefst die Vortheile der Ebbe nicht so lange, weil er allmählig an Orte kommt, die schon Fluth haben, wenn höher hinauf, wo er vor einigen Stunden abfuhr, die Ebbe noch dauert.

---

1 Phil. Transact. 1760. p. 566.
2 Ph. Tr. 1755. p. 351. sq. von Zach's Mon. Corr. XXVI. 146.
3 Phil. Trans. 1726. p. 68.

Die Fluthwelle setzt ihren Lauf stromaufwärts noch fort, während in der Mündung schon Ebbe eintritt, und daher kann es sich zum Beispiel bei Sturmfluthen ereignen[1], daſs die Fluthwelle erst in den obern Gegenden ankommt wenn der Sturm sich schon gelegt hat. Die sehr hoch angeschwellte Fluthwelle fängt dann zwar an zum Theil zur Mündung zurückzuströmen, aber zum Theil setzt sie ihren Sturz auch oberwärts fort.

Die Fluth erstreckt sich oft sehr tief in die Ströme hinein, wenn, wie es gewöhnlich der Fall ist, die Ströme an der Mündung sehr wenig Fall haben. Im Amazonenflusse soll die Fluth noch 200 französ. Meilen von der Mündung merklich seyn.

34. Oertliche Umstände bringen auch hier manche nicht so leicht zu erklärende Verschiedenheiten hervor. Ein Beispiel davon geben die *Leakies* in dem Flusse Forth[2]. Hier ist, nach Wrights Erzählung zwischen Queens-Ferry (7 engl. M. oberhalb Leith) und einem Orte, den er the house of Manor nennt, eine solche Krümme, daſs man auf dem Strome 25 engl. M., dagegen in gerader Linie nur 4 engl. M. hat. In dieser Gegend wird die Fluth einige Zeit durch ein Sinken des Wassers und die Ebbe durch ein Steigen des Wassers unterbrochen, und nachher geht in jenem Falle die Fluth, in diesem die Ebbe weiter fort. Diese Erscheiuung fängt gewöhnlich bei Queens-Ferry an, aber erst an einem höhern Puncte, wenn der Strom viel Wasser hat oder Springfluthen sind; dagegen erstreckt sie sich bei höherem Stromwasser oder Springfluthen höher hinauf bis oberhalb Stirling. Wright sucht die Ursache der Erscheinung nicht auf; sie muſs aber wohl darin liegen, daſs die Fluthwelle sich zertheilt in der Krümme vorwärts stürzt, was sich vielleicht durch die Zurückwerfung von den Ufern erklärt.

35. Ein sonderbares mit dem Einsturz der Fluth in einigen Strömen verbundenes, jedoch nur unter gewissen Umständen eintretendes Phänomen ist das, was man in der Dordogne *Mascaret*, an andern Orten la Barre, *the Bore* nennt. Der Mascaret oder die *Mascara* wird in der Dordogne[3] nur

---

1 Ein solches Beispiel gab die Fluth am 13. Dec. 1747 in Hamburg. Büsch's Wasserbaukunst. I. S. 214.

2 Ph. Trans. 1750. 412.

3 G. XXXIII. 407.

beobachtet, wenn das Wasser des Stromes niedrig ist, dann aber bei jeder Fluth. Er entsteht in geringer Entfernung von dem Puncte, wo die Dordogne sich in die Garonne ergiefst, und zeigt sich da als eine Wassermasse, die zuweilen nur von der Gröfse einer Tonne. zuweilen aber von der Gröfse eines kleinen Hauses ist. Diese Wassermasse wälzt sich sehr schnell, dicht am Ufer, mit grofsem Getöse den Strom hinauf fort, und wenn sie gegen harte Körper schlägt, zeigt sie eine so grofse Gewalt, dafs sie oft die steinernen Einbaue zertört und Schiffe versenkt oder zerbricht. An gewissen Stellen zertheilt sich der Mascaret in Wellen, weiterhin ist er wieder eine zerstörende Wassermasse u. s. w. Die Ursache dieser Erscheinung scheint in dem heftigen Einsturz der Fluth in die Dordogne zu liegen. Indem nämlich die Fluth zuerst in den weiten Meeresarm, die Gironde, und von da in die auch noch recht breite Garonne sehr frei eintritt, findet sie sich an der Mündung der viel engeren Dordogne, die sich gerade in der bisherigen Richtung der einstürzenden Fluth darbietet, plötzlich so umschlossen, dafs sie in dem engen Raume hoch anzuschwellen genöthiget ist, um das Wasser fortzuführen, was die grofse, nachdrängende Fluthwelle immer neu zuführt. So entsteht dieser einstürzende Wasserberg, der um so mächtiger ist, je weniger Wasser der Strom selbst entgegenführt, und der in der Dordogne mächtig ist, ohne es in der obern Garonne zu seyn, weil diese in schiefer Richtung eintretend von dem, seine vorige Richtung verfolgenden Wasser weniger empfängt.

Sehr ähnlich sind die Umstände in der Saverne, wo auch die in einem breiten Meeresarme eintretende Fluth sich plötzlich in ein viel engeres Flufsbette stürzt, und hier ist es noch weniger zu verwundern, wenn die so ungemein hoch, bis auf 45 Fufs steigenden Springfluthen sich wie ein Wall gegen 9 Fufs hoch gethürmt fortwälzen. In der Gegend der Saverne, wo dies geschieht, fluthet es nur 2 Stunden, und doch erreicht die Fluth eine Höhe von 18 Fufs, und jener Einsturz ist mit der zerstörendsten Wirkung für Schiffe, die nicht in Sicherheit gebracht sind, verbunden[1].

Sehr ähnlich ist auch **la Barre** oder die **Prorora**[2],

1 Ph. Tr. 1668. p. 812.
2 Annales maritimes 1824. Juill. et Aout. G. XXXIII. 410.

welche schon Condamine kannte. Nach Noyer's Beschreibung scheint sie aber aus dem Zusammentreffen der stark eindringenden Fluth mit dem Stromwasser des Amazonenflusses zu entstehen, wodurch „ein Kampf entgegengesetzter Kräfte, unterbrochene Wellen und heftige Stöſse von OSO und WNW hervorgebracht werden." Auch diese Erscheinung ist an seichten Stellen am stärksten.

Auch an der Mündung des Ganges soll eine ganz ähnliche Erscheinung vorkommen, und namentlich in dem Calcutta-River da anfangen, wo der Strom sich sehr verengert. *The Bore*, wie die Erscheinung dort heiſst, durchläuft 70 engl. Meilen in 4 Stunden (das hieſse über 20 Fuſs in der Secunde), und die Schiffe müssen sich in die Gegenden des Stroms begeben, wo der Zusturz der Fluth minder mächtig ist. Wenn es diese Mündung des Ganges also war, in welcher Alexander zum Indischen Meere hinabschiffte, so mag die Beschreibung, die Curtius von dem Zustande seiner Flotte während dieser Fluthen macht, doch nicht so übertrieben seyn, wie sie sonst wohl scheinen könnte. Denn wie so unbedeutende Schiffe hin und her, einander entgegen und auf Sandbänke und Untiefen geschleudert werden mochten, kann man sich vorstellen.

36. Das was in diesen Fällen die einstürzende Fluth bewirkt, wenn sie sich plötzlich in ein enges Bett eingeengt findet, scheint am 18. November 1824 in Petersburg die Sturmfluth gethan zu haben. Wenn hier bei einer genau die Richtung des Finnischen Meerbusens treffenden Richtung des Sturmes die Sturmfluthwelle sich in den Meerbusen stürzt, und sich nun in der Newa eingeengt findet, wo das zustürzende Wasser durch die Masse und Schnelligkeit des andringenden Wassers stark anzuwachsen genöthigt ist, so können gar wohl die plötzlichen und furchtbaren Erscheinungen entstehen, die uns in den Zeitungen erzählt wurden. Auch die Seltenheit dieser Erscheinung in Petersburg läſst sich dadurch wohl erklären, indem vermuthlich eine sehr bestimmte Richtung des Windes erfordert wird, wenn sie eintreten soll. *B.*

Ebbe und Fluth in der Atmosphäre. S. *Atmosphäre.*

Ebene.

Ebene Fläche; *Planum;* Plan; *Plane.*

Die Bestimmung dessen, was man im Allgemeinen unter einer Ebene versteht, wenn man z. B. von Ebenen redet, worin Puncte und Linien fallen, welche von Linien geschnitten werden, und gegen einander eine gewisse Neigung oder Richtung haben, gehört in die Geometrie. Aus dieser entlehnt dann die Naturlehre die erforderlichen Sätze, wenn in derselben z. B. von den Ebenen der Spiegel, denen, worin sich geworfene Körper bewegen, worauf das Auge gesehene Gegenstände projicirt u. v. a. die Rede ist. In der physischen Geographie stehen die Ebenen den Bergen und Thälern entgegen, und versteht man darunter solche ausgedehnte Flächen des Erdballes, auf welche überall die Falllinie normal gerichtet ist, also horizontale Ebenen. Vorzüglich bedient man sich in der theoretischen Mechanik oder der Dynamik der Ebenen als eines Hülfsmittels, um die Richtung der verschiedenen, einen gegebenen Punct sollicitirenden Kräfte und die hiernach entstehende Bahn desselben zu construiren. Sehr häufig denkt man sich alsdann unter den Ebenen solche Flächen, welche den bewegten Körpern einen unüberwindlichen Widerstand entgegensetzen, z. B. wenn von dem Drucke eines Körpsrs gegen dieselben und vom gänzlichen oder partiellen Ruhen eines solchen auf ihnen die Rede ist, in welchem letzteren Falle man die Richtung der Bewegung in Beziehung auf die Ebene zu zerlegen pflegt. Wird dann bei der Untersuchung der Bewegungsgesetze von der Schwere der Körper, vermöge welcher sie in lothrechter Richtung drücken oder zu fallen sollicitirt werden, abstrahirt, so kommt die Richtung der Ebenen gegen die Falllinie nicht in Betrachtung, wie dieses im Artikel *Bewegung* im Ganzen geschehen ist[1]; nimmt man aber hierauf Rücksicht, so sind die Ebenen entweder als *horizontale* oder als *geneigte* näher zu betrachten.

A. Horizontale Ebene.

Weil die Richtungslinie des Falles der Körper auf die horizontale Ebene normal ist, so kann ein auf derselben ruhender

1 Vergl. Th. 1. S. 959.

Körper nicht fallen, sondern wirkt bloſs durch seinen Druck, vorausgesetzt daſs die Ebene selbst fest ist und durch die Trennung ihrer Theile die angegebene Natur einer Ebene nicht ändert. Soll ein auf derselben ruhender Körper bewegt werden, so zerlegt man die eine oder die mehreren bewegenden Kräfte auf die im Artikel *Bewegung* angegebene Weise, und es ist an sich klar, daſs diejenigen verschwinden müssen, deren Richtung auf die Ebene normal ist. Rücksichtlich der praktischen Anwendung gehört zur Bewegung einer auf der horizontalen Ebene ruhenden Last nicht mehr Kraft, als erforderlich ist, die Trägheit derselben zu überwinden, und sie ist daher um so kleiner, je geringer die verlangte Geschwindigkeit ist, so daſs sie hiernach also verschwindend klein werden kann. Die zur Bewegung derselben in der Praxis wirklich verwandten Kräfte dienen also eigentlich nur zur Ueberwindung der Adhäsion und der Reibung. Uebrigens heiſst eine horizontale Ebene auch eine wagerechte, welches Gehler [1] von dem horizontalen Stande einer gewöhnlichen Waage ableitet, und werden die Werkzeuge, womit man dieselbe prüft, daher auch Bleiwaagen, Schrotwaagen, Wasserwaagen u. s. w. genannt.

B. Geneigte Ebene.

Die *geneigte Ebene*, auch *schiefe Ebene*, *geneigte oder schiefe Fläche*; planum inclinatum; plan incliné; *inclined plane* genannt, kann zur Erleichterung der Uebersicht aus drei verschiedenen Gesichtspuncten betrachtet werden, obgleich diese keineswegs wesentlich verschieden sind; zuerst wenn man die Gesetze eines auf derselben fallenden oder herabgleitenden, schweren Körpers untersucht, oder diejenigen Modificationen, welche die Gesetze des freien Falles der Körper durch den Widerstand der geneigten Ebene erleiden; zweitens wenn man das Verhältniſs der Kräfte und Gewichte bestimmt, welche bei einem schweren Körper im Gleichgewichte seyn müssen, wenn er durch die geneigte Ebene nur zum Theil unterstützt ist, mithin auf derselben herabzugleiten strebt, und an diesem Herabgleiten gehindert werden oder ruhen soll, womit dann die Frage über die zur Bewegung desselben auf-

1 Wörterb. a. A. II. 651.

wärts der geneigten Ebene erforderliche Kraft zusammenfällt; und drittens wenn man diejenigen Fälle erörtert, in denen die geneigte Ebene gegen eine gegebene Last bewegt wird. Bei den beiden ersteren Untersuchungen ist die Neigung der Ebene durch die unveränderliche Lage der horizontalen Ebene bedingt, bei der letzteren kommt nicht diese, sondern die Neigung gegen eine andere Ebene von willkürlicher Lage gegen die horizontale Ebene in Betrachtung. Ferner sind mit der ersteren Untersuchung die Gesetze des freien Falles zu genau verbunden, als daſs sie ohne diese verständlich werden könnte, und man verbindet daher am zweckmäſsigsten die Gesetze des freien Falles und des nicht freien oder auf gegebener Bahn mit einander. Wird aber rücksichtlich auf die dritte Untersuchung eine Bewegung der geneigten Ebene gegen eine gegebene Last angenommen, so wirkt dieselbe als mechanische Potenz, und kann daher am besten als solche betrachtet werden[1], mithin bleibt hier nur der zweite Fall zu untersuchen übrig.

Man pflegt meistens in den Lehrbüchern der Physik das Gleichgewicht zwischen einer gegebenen Last und der Kraft, womit dieselbe auf der geneigten Ebene zur Ruhe gebracht wird, auf die Gesetze des Falles auf der letzteren zurückzuführen, welche Methode auch einfach und zweckmäſsig ist, allein man kann auch auf die folgende Weise leicht zu dem nämlichen Ziele gelangen.

Fig. 8. Es sey AC horizontal, AB gegen diese um den Winkel α geneigt, der Durchschnitt eines auf der geneigten Ebene AB ruhenden Körpers sey l o K p q dessen Schwerpunct in k liege, so wird dieser in der Richtung k m zu fallen streben. Diese Linie läſst sich zerlegen in die componirenden k n und n m, wovon die erstere normal auf AB gerichtet ist, und durch den unüberwindlichen Widerstand derselben = 0 wird, die zweite aber das Verhältniſs der Kraft bezeichnet, womit die Last herabzugleiten strebt. Es sey nun ferner die Kraft, welche das Herabgleiten des Körpers hindert, in K befestigt, und in der Richtung KE wirkend, so läſst sich auch diese als die Resultirende der zwei componirenden r s und r K ansehen, wovon die erstere auf AB normal ist, und daher entweder den Druck

1 S. *Potenz, mechanische.*

des Körpers gegen die geneigte Ebene vermehrt oder partiell aufhebt, die andere aber mit AB parallel das Herabgleiten desselben hindert. Die Geometrie aber lehrt, daſs die Dreiecke n k m; n'K m'; r K s ähnlich sind, und diese Construction wird daher stattfinden können, wo auch immer die bewegende Kraft KE angebracht seyn mag, wenn man bei der wirklichen Ausübung vorläufig von der Reibung und einer Umwälzung des Körpers durch die Kraft KE abstrahirt. Heiſst also der Winkel BAC $= \alpha$; das absolute Gewicht des Körpers $=$ P, so ist k n oder die Kraft, womit der Körper gegen die Ebene drückt $= P. \text{Cos}. \alpha$ und m n, womit er herabzugleiten strebt $= P. \text{Sin}. \alpha$. Letzteres Gewicht, im Gegensatze gegen sein absolutes, heiſst sein *relatives* oder *respectives* Gewicht.

Wenn auf gleiche Weise EFC $= \beta$ genannt wird, die in der Richtung KE wirkende Kraft aber $=$ Q, so ist $rs = Q. \text{Sin}. (\beta - \alpha)$ und $rK = Q. \text{Cos}. (\beta - \alpha)$. Soll also der Körper wirklich ruhen, so muſs $P. \text{Sin}. \alpha = Q. \text{Cos}. (\beta - \alpha)$ seyn, wonach die seinem Falle entgegenwirkende Kraft $Q = \frac{P. \text{Sin}. \alpha}{\text{Cos}. (\beta - \alpha)}$ wird. Ist die Richtung der bewegenden Kraft mit AB parallel, so wird $\beta = \alpha$ und es ist daher $Q = P. \text{Sin}. \alpha$, welcher Fall beim Fahren der Wagen auf Anhöhen am häufigsten vorkommt; ist dagegen die Richtung der bewegenden Kraft oder KE mit AC parallel, also in der Anwendung horizontal, so wird $\beta = 0$, und da $\text{Cos}. - \alpha = \text{Cos}. \alpha$ ist, so wird $Q = P. \text{Tang}. \alpha$. Der erste Fall heiſst in Worten ausgedrückt: *Unter jener Bedingung verhält sich die bewegende Kraft zur Last, wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge;* der zweite dagegen heiſst: *Unter dieser Bedingung verhält sich die bewegende Kraft zur Last, wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Basis.* Es folgt endlich aus dem Vorigen von selbst, daſs der Druck, welchen die Fläche erleidet, in Beziehung auf die drückende Last $= P. \text{Cos}. \alpha$ und in der Rücksicht der bewegenden Kraft $= Q. \text{Sin}. (\beta - \alpha)$ ist. Letztere Gröſse ist, wie aus der Construction folgt, negativ, wenn $\beta > \alpha$ ist, wird $= 0$, wenn $\beta = \alpha$, und positiv, wenn $\beta < \alpha$ ist. Hieraus kann die Summe und die Differenz beider Drucke leicht gefunden werden[1].

[1] Vergl. Poisson Traité de Mécanique, Par. 1811. II Vol. 8. I. 126. u. 495. Was Gehler Th. III. p. 837 weiter über die Theorie erwähnt, auf welche Stevin, Varignon und Wolf dieses Problem zurückgeführt haben, scheint mir für den Physiker überflüssig zu seyn.

Nimmt man auf die Reibung Rücksicht, so ist diese der Last proportional, und muſs also durch die Summe des Druckes der Last und der bewegenden Kraft erzeugt werden. Wird diesem nach der Reibungscoefficiant durch f bezeichnet; so ist die Friction $= f(P. \text{Cos.}\ \alpha - Q. \text{Sin.}\ (\beta - \alpha))$. Soll die Kraft bloſs das durch die Reibung erschwerte Herabgleiten hindern, so muſs $Q. \text{Cos.}(\beta - \alpha) = P. \text{Sin.}\ \alpha - f P. \text{Cos.}\ \alpha - Q. \text{Sin.}(\beta - \alpha)$ seyn, woraus $Q = \frac{P. (\text{Sin.}\ \alpha - f. \text{Cos.}\ \alpha)}{\text{Cos.}(\beta - \alpha) - f. \text{Sin.}(\beta - \alpha)}$ wird. Wenn dagegen Q nicht bloſs die Last im Gleichwichte erhalten, sondern auch die Reibung ganz überwinden soll, so daſs die geringste Zugabe der Kraft eine wirkliche Bewegung erzeugen würde; so muſs $Q. \text{Cos.}(\beta - \alpha) = P. (\text{Sin.}\ \alpha + f. \text{Cos.}\ \alpha) - Qf \text{Sin.}\ (\beta - \alpha)$ seyn, woraus $Q = \frac{P. (\text{Sin.}\ \alpha + f. \text{Cos.}\ \alpha)}{\text{Cos.}\ (\beta - \alpha) + f \text{Sin.}\ (\beta - \alpha)}$ wird. Berücksichtigt man hierbei den oben erwähnten Fall, in welchem die bewegende Kraft mit der schiefen Fläche parallel, also $\beta = \alpha$ ist, so wird für die erste Bedingung, daſs nämlich die bewegende Kraft den durch die Reibung am Herabgleiten gehinderten Körper in Ruhe erhalten soll

$$Q = P\ (\text{Sin.}\ \alpha - f. \text{Cos.}\ \alpha).$$

Setzt man hierin $Q = 0$, oder würde angenommen, daſs der Körper durch seine Reibung allein herabzugleiten verhindert wäre, so müſste $P. \text{Sin.}\ \alpha = Pf. \text{Cos.}\ \alpha$ werden, und es lieſse sich hieraus $f = \frac{\text{Sin.}\ \alpha}{\text{Cos.}\ \alpha} = \text{Tang.}\ \alpha$ also der Reibungscoefficient aus der Tangente des Neigungswinkels der geneigten Ebene finden. Kommt auf die hier angegebene Weise ein Körper auf der geneigten Ebene durch seine bloſse Reibung bei einem Elevationswinkel $= \alpha$ zur Ruhe, so heiſst dieser Winkel dann der *Ruhewinkel.* Sofern man aber aus diesem Winkel bei bekanntem absolutem Gewichte des Körpers sein relatives, und hierdurch den Reibungscoefficienten findet, heiſst derselbe auch der *Reibungswinkel.* Für den oben erwähnten zweiten Fall aber, wenn nämlich die Richtung der bewegenden Kraft mit der Basis der Ebene parallel, also $\beta = 0$ ist, wird unter der gleichen Bedingung, nämlich daſs die Kraft dem durch Reibung am Herabgleiten gehinderten Körper das Gleichgewicht halten soll, $Q = \frac{P\ (\text{Sin.}\ \alpha - f. \text{Cos.}\ \alpha)}{\text{Cos.}\ \alpha + \text{Sin.}\ \alpha}$.

Soll in beiden Fällen aber die bewegende Kraft nicht bloſs der Last, sondern auch ihrer Reibung gleich seyn, so daſs durch die geringste Vermehrung derselben eine wirkliche Bewegung entstände, so ist

für den ersten Fall $Q = P\ (\text{Sin.}\ \alpha + \text{f. Cos.}\ \alpha)$

für den zweiten Fall $Q = \frac{P\ (\text{Sin.}\ \alpha + \text{f. Cos.}\ \alpha)}{\text{Cos.}\ \alpha + \text{Sin.}\ \alpha}$.

Zur Erläuterung, wenn auch weniger zum Beweise der Richtigkeit der hier vorgetragenen Sätze, dient folgende Maschine. Auf dem horizontalen Brette AB befindet sich das eingelassene, vermittelst der Charniere k bewegliche Brett l e, dessen Elevation an dem getheilten Bogenstücke DC gemessen wird, woran dasselbe vermittelst einer Klemmschraube festgehalten werden kann. Man stellt dasselbe auf einen beliebigen Winkel, legt die an ihrer Axe mit einem Faden gehörig befestigte Kugel oder einen kleinen Wagen mit sehr leicht beweglichen Rädern und von genau bestimmtem Gewichte darauf, führt den Faden über die Rolle g, und beschwert ihn am Ende mit dem Gewichte Q. Die Elevation des Brettes e l giebt den Winkel α, uud die höhere oder niedrigere Stellung des Bogenstückes i h, dessen Centrum sich in dem Mittelpuncte der zu bewegenden Last oder in c befinden müſste, kann gehörig eingerichtet den Winkel β für diejenigen Fälle geben, wenn $\beta > \alpha$ oder $\beta = \alpha$ ist, mit gröſserer Schwierigkeit auch für diejenigen, wenn $\beta < \alpha$ wird. Hiernach findet man also das Verhältniſs von Q zu P durch Versuche. Statt der Kugel oder des kleinen Wagens kann auch ein Klötzchen genommen, und somit also der Reibungscoefficient gefunden werden [1]. Fig. 9.

Die hier gegebene Demonstration [2] ist am leichtesten und in eigentlicher Strenge anwendbar, wenn die bewegende Kraft im Schwerpuncte selbst angebracht ist, oder wenn die durch den letzteren gezogene Falllinie verlängert die Richtung der bewegenden Kraft trifft, am allerleichtesten, wenn der fallende

---

1 Vergl. Encyclopédie méthodique. Physique IV. 318.

2 Vergl. H. W. Brandes Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung fester und flüssiger Körper. Leipzig. 1817. I. 91. Eytelwein Handbuch der Statik fester Körper. Berl. 1808. I. 239. ff. Vega Vorlesungen über die Mathematik Bd. III. Wien 1818. S. 158. u. v. a.

Körper die Kugelform hat, in welchem Falle dann auch die Reibung wegfällt. Anderweitig bedingte Fälle, z. B. wenn der Körper so geformt ist, dafs er in demjenigen Puncte, in welchem der aus seinem Schwerpuncte auf die geneigte Ebene gefällete Perpendikel diese trifft, sie nicht berührt u. a. m. lassen sich nach den angegebenen Grundsätzen leicht construiren, und gehören eigentlicher in die Mathematik.

Die geneigte Ebene kommt hauptsächlich in Anwendung, wenn man dieselbe, wie schon erwähnt ist, als mechanische Potenz betrachtet, noch mehr aber in den täglich wiederholt vorkommenden einfachen Fällen, in denen Lasten auf derselben bewegt werden müssen. Indefs kommen noch drei bekannte physikalische Probleme hierbei in Betrachtung, welche eine nähere Erörterung erfordern, nämlich der sogenannte berganlaufende Cylinder, der berganlaufende Kegel und die Quecksilberuhr.

Fig. 10. 1. Der *berganlaufende Cylinder* wird 6 bis 9 Zoll hoch und 1 bis 2 Z. dick aus leichtem Holze oder noch besser aus starker Pappe und hohl gemacht. In g befindet sich nahe am Rande ein der Gröfse und dem Gewichte des Cylinders angemessener Cylinder von Blei, oder es wird ein Stück Blei inwendig an der inneren Seite des Cylinders befestigt. Durch das gröfsere Gewicht des Metalles fällt der Schwerpunct nicht in die Mitte des Cylinders, sondern es werde angenommen, er falle in e. Um dann zu bestimmen, in welcher Lage derselbe auf einer Ebene BAC, deren Neigungswinkel $= \alpha$ seyn möge, zur Ruhe kommen, sich aufwärts bewegen oder herablaufen wird, ist es am kürzesten, die Bedingung des Ruhens zu suchen, wobei vorausgesetzt wird, dafs der Schwerpunct nach der Erhöhung der Ebene hin liege, weil der Cylinder sonst nothwendig herabrollen mufs. Ist dann a c auf die Ebene AB lothtrecht, a b die Falllinie aus dem Centro des Cylinders, e d aus dem Schwerpuncte desselben, so sind beide einander parallel. Weil aber der der Cylinder nur dann ruhen kann, wenn c und d in einen Punct zusammenfallen, so mufs er in dem durch die Figur dargestellten Falle so lange aufwärts rollen, bis dieses wirklich eintrifft, und dann ruhen. Senkte man die Ebene AB auf AC, so würde der Schwerpunct e in die Linie a c fallen, erhebt man dagegen AB, so beschreibt e um a einen Kreis, und die gröfste Neigung findet dann statt, wenn a e d einen rechten Winkel bildet. Denn weil im Zu-

stande der Ruhe die Puncte c und d allezeit zusammenfallen, so ist für den angegebenen Fall ade = bac = α; und da ae : ac = Sin. ade = Sin. α ist, so wird die Ebene am stärksten geneigt seyn, wenn Sin. α = ae : ac ist. Kennt man also den Halbmesser des Cylinders und den Abstand des Schwerpunctes vom Centro desselben, so kann man hieraus die gröſste Neigung der Ebene für den Zustand des Gleichgewichts finden. Umgekehrt läſst sich aus dem Halbmesser des Cylinders und der Neigung der Ebene der Abstand des Schwerpunctes vom Centro finden, indem ae = ac Sin. α. Wird die Neigung der Ebene erhöhet, so wird der Winkel bei e kleiner als ein rechter, die Linie ed schneidet die Linie ac und der Punct d fallt über c hinaus nach b hin, findet also keine Unterstützung, und der Cylinder rollt die Ebene herab [1]. Wenn man dem Schwerpuncte nur ein kleines Uebergewicht verstattet, so erhält man eine Kraft, welche ein im Cylinder befindliches Räderwerk umtreiben, und durch ein Hemmwerk so regulirt werden kann, daſs das Aufsteigen oder Herabrollen des Cylinders ein darin eingeschlossenes Uhrwerk treibt. Eine solche Uhr, die sich selbst eine schiefe Fläche hinabtreibt, und durch das Aufwälzen wieder aufgezogen wird, beschreibt Robert Wheeler [2].

2. Noch weit einfacher ist die Theorie und Construction des sogenannten berganlaufenden Kegels, eines doppelten Kegels, welcher die zwei schiefen Flächen CA und CB hinaufläuft. AC, BC sind nämlich zwei in C vereinigte Leisten, 0,25 bis 0,5 Z. dick und etwa 1 Z. hoch. Bei A und B müssen dieselben höher seyn, so daſs jede eine von C aus ansteigende geneigte Ebene bildet, oder sie werden vermittelst zweier Schrauben hier höher gestellt. Die Länge derselben ist unter sich gleich, übrigens willkürlich, die Differenz ihrer Höhe in A und B gegen C wird durch die Dicke des Kegels bestimmt, und zwar muſs sie geringer seyn als ½ cd; die Entfernung zwischen A und B ist aber gleich der Länge der Axe des doppelten Kegels = ab. Wie die Figur zeigt kommt der Kegel auf seiner Unterlage allezeit so zu liegen, daſs seine

Fig. 11.

1 Desaguliers Cours de Phys. expér. 1. 58. beschreibt diesen Cylinder, und giebt p. 81 ff. eine sehr weitläuftige Demonstration des Phänomens. Vergl. Kästner in deutsche Schriften d. Kön. Ges. d. Wiss. Gött. 1771. p. 113.

2 Phil. Trans. N. 161. p. 647.

eigenen schiefen Flächen die schiefen Flächen CA und CB berühren, und wenn die ersteren dann stärker geneigt sind als die letzteren, so wird er mit einer der Differenz dieser beiden proportionalen Geschwindigkeit herabrollen, obgleich er dem Ansehen nach auf der ersteren aufwärts zu rollen scheint. Sind beide Flächen gleich stark geneigt, so wird der Kegel an allen Orten ruhen, auch ist die Länge der zur Unterlage dienenden geneigten Ebenen deswegen gleichgültig, weil bei zunehmender Länge die Neigung auf eine gröſsere Strecke vertheilt wird, dann aber auch die Schneckenlinie, welche um jede Hälfte des Kegels beim Herabrollen beschrieben wird, mehrere Windungen erhält[1].

3. Die Quecksilber-Uhr ist eine ganz interessante, zur Erläuterung der Lehren vom Schwerpuncte und der schiefen Fläche dienende Spielerei. Sie ruhet auf einem Gestelle aus dünnen Stäben CA, C′A′, BA, B′A′; wovon erstere lothrecht stehen, letztere gegen den Horizont geneigt sind. Der eigentliche Körper ist aus Glas verfertigt, ein runder Kranz amna, bestehend aus hohlen, durch enge Zwischenröhren verbundenen Kugeln, worin sich eine verhäſtniſsmäſsige Menge Quecksilber befindet, so daſs etwa zwei der hohlen Räume, m und n, damit gefüllt sind. Vermittelst dreier pergamentener oder aus Fischbein verfertigter Speichen ist dieser Kranz an eine kleine hölzerne Walze c befestigt, welche mit ihren beiden Enden auf den beiden parallelen und gleichmäſsig gegen den Horizont geneigten Stäben AB, A′B′ aufliegt, und durch zwei um sie gewickelte, in A und A′ befestigte Fäden in horizontaler Lage getragen wird. Ohne das enthaltene Quecksilber würde der Schwerpunct des Kranzes in die Mitte der Axe c fallen, die Fäden würden sich abwickeln, und der Kranz auf der geneigten Ebene herabrollen; allein dieses wird verhindert durch das in den Räumen m und n befindliche Quecksilber, welches durch die gegenüberstehende leichtere Seite a nicht gehoben werden kann, und daher erst durch die engen Zwischenräume abflieſsen muſs, wenn der Kranz weiter herabsinken soll. Je enger diese Räume im Verhältniſs zu der Menge dieses Quecksilbers sind, um so langsamer wird dieses Herabfallen stattfinden, und wenn die engen Canäle sämmtlich gleich weit sind,

Fig. 12.

---

1 Vergl. Kraft in Nov. Com. Pet. VI. 389. Ausführlich handelt darüber Kononoff in. Nov. Act. Pet. VII. 229.

so wird dieses in einer regelmäfsigen Zeit geschehen, so dafs die Bewegung der einer Uhr gleicht, und auch diese wie eine Sanduhr zum Zeitmafse dienen könnte[1].

Unter die bedeutendsten Anwendungen der geneigten Ebene gehören die sogenannten trocknen Schleusen (écluses sèches), vermittelst derer man die Schiffe aus einem Canale oder Wasserbehälter in einen andern auf einer schiefen Fläche aufwärts bewegt oder auch herabgleiten läfst. Eine der merkwürdigsten Vorrichtungen dieser Art ist diejenige, welche der Herzog von Bridgewater durch den Ingenieur Brindley erbauen liefs, um eine Verbindung zwischen zwei Wasserbehältern herzustellen, die einen Theil eines Canales von 52 engl. Meilen bilden, bestimmt zum Transporte der Steinkohlen von Worsley, wo sie gegraben werden, bis an den Flufs Merisey, von wo sie nach Liverpool und in die See kommen. Die geneigte Ebene ist 453 engl. Fufs lang und auf 4 F. ohngefähr einen Fufs geneigt. Man erhebt hier die Schiffe bis zu 106 engl. F. lothrechte Höhe, welches die Differenz des Niveaus beider Wasserbehälter ist[2].

Sehr häufig bedient man sich der geneigten Ebenen, um Lasten durch ihr eigenes Gewicht von einer Höhe herabzubringen. Dahin gehören die Vorrichtungen, vermittelst deren z. B. die Steinkohlen zu Newcastle in Rollwagen geladen werden, welche dann durch ihr Gewicht bis über die Schiffe herabrollen, wo ihre Kasten umschlagen und sich ausleeren. Solcher Wagen sind in der Regel zwei an ein gemeinschaftliches, über eine Rolle gehendes Seil befestigt, so dafs der beladene durch sein Uebergewicht den leeren wieder heraufzieht. Aehnlicher Maschinerien bedient man sich, um die Erze von den Bergen herabzuschaffen, auch lassen sie sich zum Abtragen der Berge gebrauchen.

Eine wegen ihrer Gröfse stets denkwürdige geneigte Ebene ist diejenige, welche Joh. Rupp im Jahre 1816 anlegte, um das seit undenklicher Zeiten unbenutzte Holz der Urwälder auf dem Pilatusberge in der Schweiz darauf herabgleiten zu lassen. Sie lief bald gerade, bald in Windungen unter einem Winkel

1 Ein solcher Apparat befand sich ehemals im Cabinette zu Göttingen; sonst ist mir keine Beschreibung desselben bekannt geworden.

2 S. Encyclopédie méthod. a. a. O. p. 319.

von 10° bis 18° stellenweise unter der Erde, sonst aber im Allgemeinen auf Böcken von 10 bis 120 F. Höhe, eine Strecke von drei Stunden herab, war aus geschälten Tannen muldenförmig zusammengesetzt, und hatte eine Breite von 6 Fuſs bei einer Tiefe von 3 bis 6 Fuſs. Im Ganzen wurde sie durch 2000 Joche getragen, die gegen 10 Fuſs von einander abstanden, und deren Befestigung oft mit unglaublichen Schwierigkeiten verbunden war. Es wurden 25000 Stämme Holz dazu verwandt, welche ohne alles Eisen künstlich zusammengesetzt waren, der Bau beschäftigte im Mittel 160 Menschen 1,5 Jahre und kostete über 100000 Gulden. Nachdem das Werk aller unübersteiglich scheinenden Hindernisse ungeachtet endlich vollendet war, glitten die groſsen, 100 F. langen und am dünnsten Ende noch 10 Z. dicken Tannen mit solcher Schnelligkeit darauf herab, daſs sie den Weg von drei Stunden in nicht mehr, als drittehalb Minuten zurücklegten, und den unten stehenden Beobachtern nicht länger als einige Fuſs zu seyn scheinen. Der Sicherheit wegen hatte der Mittelbaum in seiner ganzen Länge eine Rinne, in welche durch angebrachte Zubringer von vielen Stellen stets Wasser herablief und das Holz benetzte. Zur Erhaltung der Ordnung waren an der ganzen Strecke Arbeiter angestellt, wovon der unterste rief: *Laſs laufen;* dieser Ruf kam etwa in 3 Minuten vermittelst der zwischenstehenden Arbeiter oben an, ein Baum wurde losgelassen mit dem Rufe: *Er kommt*, und so glitt alle 5 bis 6 Minuten ein Baum herab, wenn nicht etwas an der Leitung verdorben war, was sofort ausgebessert wurde. Um die Kraft des anprallenden Holzes zu zeigen, lieſs Rupp einige Bäume seitwärts herausschieſsen; sie drangen mit ihrem dicken Ende 18 bis 24 Fuſs tief in die Erde ein, und als zufällig ein liegender von einem herabgleitenden getroffen wurde, spaltete dieser ihn wie der Blitz von einem Ende zum andern[1].

Die geneigten Ebenen kommen unter andern hauptsächlich auch dann in Betrachtung, wenn es sich darum handelt, daſs Menschen, Thiere und Lasten auf denselben hinauf oder herab bewegt werden sollen, ohne übermäſsige oder unmögliche Anstrengung im ersten und ohne Gefahr im letztern Falle. Um von dem Vielen, was die praktische Anwendung

1 G. LXII. 102.

hierbei zu erörtern fordert, nämlich von der bergauf oder bergabwärts gehenden Bewegung unbelasteter oder mit verschiedenen Gewichten belasteter Menschen, Pferde, Maulthiere u. s. w. Chaisen, leerer oder beladener Wagen, Frachtwagen, Munitionswagen, Geschütze u. dergl. m., jederzeit mit Rücksicht auf die erforderliche Geschwindigkeit und Sicherheit, nur einige Hauptsachen namhaft zu machen, möge Folgendes genügen. Wenn man mit LANGSDORF [1] glatte aber nicht beeisete Strafsen annimmt, deren Neigungswinkel = Sin. α ist den Schub, welchen das selbst schräg stehende Pferd auszuhalten vermag = (1 — 3 Sin. α) 70 ℔. setzt, um nicht zu viel zu rechnen, und zu vollkommener Sicherheit die durch einen Hemmschuh bewirkte Reibung zu $\frac{1}{12}$ der Last schätzt, ferner das Gewicht der Ladung für ein Pferd = P; das eines einspännigen Fuhrwerks = p und die Zahl der Pferde = N nennt, so ist die Kraft des Schubes für ein Pferd beim Herabfahren = (P + p) Sin. α — $\frac{1}{12}$ (P + p) und für N Pferde = N (P + p) (Sin. α — $\frac{1}{12}$). Wenn also n Pferde das Fuhrwerk aufhalten, so hat man für den Zustand des Gleichgewichtes:

$$n\,(1 - 3\,\text{Sin.}\,\alpha)\,70 = N\,(P + p)\,(\text{Sin.}\,\alpha - \tfrac{1}{12})$$

Hieraus findet man

$$\text{I.}\quad \text{Sin.}\,\alpha = \frac{70.\,n + \frac{N\,(P + p)}{12}}{210.\,n + N\,(P + p)}$$

$$\text{II.}\quad P = \frac{n\,(1 - 3\,\text{Sin.}\,\alpha)\,70}{N\,(\text{Sin.}\,\alpha - \frac{1}{12})} - p$$

$$\text{III.}\quad N\,P = \frac{n\,(1 - 3\,\text{Sin.}\,\alpha)\,70}{\text{Sin.}\,\alpha - \frac{1}{12}} - N\,p.$$

Setzt man hierin für einen Wagen allezeit n = 2; bei einer Bespannung mit 6 Pferden P = 1600 ℔.; p = 200 ℔; so wird Sin. $\alpha = \frac{1}{11}$ d. h. der Neigungswinkel einer glatten Strafse darf 5° 13′ nicht übersteigen, wenn ein sechsspänniger Wagen mit einem Hemmschuh und durch das Aufhalten der beiden hinteren Pferde sicher herabfahren soll. Wird Sin. α = $\frac{1}{12}$ = 4° 47′, so wird N (P + p) (Sin. α — $\frac{1}{12}$) = 0 d. h. der Wagen wird durch die Reibung des Hemmschuhes allein in Ruhe kommen, und bedarf des Aufhaltens der Pferde nicht.

---

1 Gemeinfassliche Anleitung zum Strafsen - und Brückenbau Heidelb. 1817. 8. p. 17.

Setzt man Sin. $\alpha = 0,1 = 5° 44'$, so wird aus II. gefunden $P = 535$ ℔, also für 4 Pferde $NP = 2140$ ℔., d. h. bei einem Steigen von 1 F. auf 10 der Länge eines Weges darf ein vierspänniger Wagen nur mit 21 bis 22 Ctr. belastet seyn, wenn man bei glatten Winterwegen, jedoch ohne Eis, mit Sicherheit auf die Hemmung durch Hemmschuh und die Hinterpferde rechnen will.

Will man die Last finden, welche auf Wagen eine ansteigende glatte Strafse hinangefahren werden kann, so darf man gleichfalls mit LANGSDORF [1] annehmen, dafs zur Ueberwindung der Reibung in diesem Falle $\frac{1}{18}$ der Last als Kraft erfordert wird. Hiernach ist, wenn die eben gebrauchten Bezeichnungen beibehalten werden, und man die horizontale Kraft eines Pferdes = 185 ℔. setzt, diejenige aber, welche dasselbe berganziehend, also selbst in einer geneigten Stellung, ausüben kann, $= (1 - 2 \text{ Sin. } \alpha)\ 185$ ℔; die zu überwindende Last $= (\frac{1}{18} + \text{Sin. } \alpha)\ (P + p)$ ℔., welcher also seine Kraft gleich seyn mufs. Jene Bestimmung setzt übrigens voraus, dafs die Kraft eines Pferdes von mittlerer Stärke nicht gröfser angenommen werde, als welche dasselbe etwa 8 Stunden des Tages anwenden kann [2]. Diesem nach wird also $(\frac{1}{18} + \text{Sin. } \alpha)\ (P + p) = (1 - 2 \text{ Sin. } \alpha)\ 185$. Werden hierin die oberen Werthe von P und p genommen, so findet man Sin. $\alpha = \frac{1}{25} = \text{Sin. } 2° 18'$, und der Weg darf nur auf 25 F. der Länge 1 F. Erhöhung haben, wenn ein beladener Wagen ohne Vorspann und übertriebene Anstrengung des Zugviehes hinaufgefahren werden soll. Setzt man in der Formel Sin. $\alpha = 0$, so findet man $P = \frac{185}{\frac{1}{18}} - p = 3330 - p$ und für $p = 200$ substituirt gäbe eine Last von $31\frac{1}{3}$ Ctn., welche für ein Pferd von mittlerer Stärke auf völlig ebener Strafse gerechnet werden könnte.

Im Allgemeinen läfst sich noch Folgendes annehmen [3].

---

1 a. a. O. p. 82.

2 Vergl. *Kraft, der Menschen und Thiere.*

3 v. Humbolt Reisen d. Ueb. I. 224. Ausführlicher hierher handelt G. W. Leonhardi in Vorlesungen über d. Anfangsgründe der Mathem. Bd IV.

Eine Elevation der Strafsen von 5° oder 1 F. Erhebung auf 11,5 F. ist schon eine starke Neigung für das Fuhrwesen, und kann bei voller Ladung ohne Vorspann nicht befahren werden, denn dieses würde sonst, die oberen Werthe von P und p angenommen eine Zugkraft von 310 ℔. für ein Pferd erfordern; worauf für eine längere Zeit nicht mit Sicherheit zu rechnen ist, obgleich sie für eine kurze Zeit und durch ungewöhnliche Anstrengung allerdings überwunden werden kann. Nach dem Gesetze dürfen daher die Chausseen in Frankreich nur 4° 46′ geneigt seyn, oder für 13 F. Länge 1 F. Erhebung haben, welches unter den angegebenen Bedingungen eine Zugkraft von 282 F. erfordert. Ein um 15° geneigter Berg kann mit einem beladenen Wagen nicht mehr hinabgefahren werden; denn nähme man das Gewicht eines vierspännigen Wagens zu 800 ℔. an, welcher unbeladen mit einem Hemmschuhe durch zwei Pferde aufgehalten werden sollte, so würde nach der oben angegebenen Formel statt des dort angenommenen Schubes von 70 ℔. vielmehr 313 ℔., für jedes Pferd kommen, bei einem mit 1600 ℔. auf jedes Pferd beladenen Wagen aber gar 2819, welche auszuhalten unmöglich ist. Setzt man bei einer Schleife die Reibung $= \frac{1}{3}$ der Last, so wird in der oben angegebenen Formel, wenn man P und p einen willkürlichen Werth giebt, also für jede mögliche Belastung und jedes Gewicht der Schleife $(P + p)$ Sin. $15° - \frac{1}{3}(P + p)$ die Kraft des Herabgleitens negativ, weil Sin. 15° = 0,2588, also kleiner als $\frac{1}{3}$ ist; d. h. in diesem Falle würde noch eine Kraft erforderlich seyn, um die Last auf der Schleife von der Anhöhe herabzubringen. Erst bei einer Elevation von 19° 28′ würde in diesem Falle die Last der zu überwindenden Reibung gleich seyn, weil Sin. 19° 28′ = 0,333258 also nahe $= \frac{1}{3}$ ist.

Eine Neigung von 37° ist zu Fuſse unzugänglich, wenn man keine Staffeln eingraben kann, also auf kurzem Rasen oder nackten Felsen, denn der menschliche Körper fällt rückwärts, wenn das Schienbein mit der Fuſssohle einen kleineren Winkel als 90° — 37° = 53° macht. Eine Neigung von 42° ist die stärkste, welche erstiegen werden kann, wenn man mit dem Fuſse Staffeln in den Boden graben kann, oder sich Hervorragungen finden, worauf der Fuſs eine Haltung erhält. Beim Ausgleiten müſste der Mensch herabfallen, wenn man die Reibung nicht stärker als $\frac{1}{3}$ der Last annehmen darf,

indem hierfür die steilste Neigung keine 20° beträgt. Die mittlere Neigung der fast unersteiglichen vulcanischen Kegel beträgt 33° bis höchstens 40°, und nur die steilsten kurzen Partieen betragen 40° bis 42°. *M.*

E c h o.

Wiederhall, in alle neueren Sprachen aus dem griechischen Worte ἠχὼ, *Ton, Geräusch, Echo,* übergegangen, bezeichnet sowohl die Zurückwerfung der Schallstrahlen oder Schallwellen von irgend einer reflectirenden Fläche, als auch die Flächen selbst, von welchen diese Reflection geschieht, mithin sowohl die Wirkung als auch die Ursache des Wiederhallens. Inzwischen fallen diese beiden Bedeutungen des Wortes so nahe zusammen, daſs die Zweideutigkeit von gar keinem Belange ist, auch hat man im Allgemeinen die Erscheinung allezeit richtig erklärt, insofern man das Echo für die Wirkung des von irgend einem geeigneten Gegenstande reflectirten Schalles hielt. Auf diese Erklärung führen die einfachsten und gemeinsten, täglich wiederkehrenden Erfahrungen. Wenn man nämlich ein Buch vor dem Gesichte haltend laut lieset oder gegen eine Wand gekehrt redet, so empfindet man deutlich die wieder entgegenkommenden Schallwellen, welches eine Art Echo im Kleinen ist. Wird indeſs das Phänomen des Echo's genauer untersucht, so kommen dabei verschiedene Gegenstände in Betrachtung, welche am besten einzeln untersucht werden.

1. Die reflectirenden Flächen.

Die eben erwähnte Erscheinung der Reflection des Schalles von den verschiedensten nahen Gegenständen und die häufig beobachteten ähnlichen Wirkungen des Wiederhallens von entfernteren Wänden, Mauern, Häusern, Ufern u. dgl. m. zeigt zwar deutlich, daſs Flächen von der verschiedensten Beschaffenheit die Schallwellen zurückwerfen, allein die genauere Beobachtung ergiebt zugleich, daſs die Art des Wiederhallens sehr verschieden ist. Zuweilen hört man nämlich insbesondere dia einzelnen Laute des Echo's nur stumpf und rauh, oft aber sind sie dagegen scharf und angenehm klingend, gleich-

sam glockenähnlich tönend, eine Verschiedenheit, welche nicht füglich anders als aus der Beschaffenheit der reflectirenden Flächen erklärt werden kann. Inzwischen wird dieser Gegenstand schwerlich jemals vollständig aufgehellet werden, weil der Redende das Echo seiner eigenen Stimme nur dann hört, wenn er sich in einer weiteren Entfernung von der wiederhallenden Fläche befindet, und auch jeder Hörer des Echo's so weit davon entfernt seyn muſs, daſs der ursprüngliche und der zurückgeworfene Schall einzeln zum Ohre gelangen, indem der nicht eben selten vorkommende Fall, daſs man das Echo allein und den dasselbe erzeugenden Schall nicht hört, nicht füglich dann stattfinden kann, wenn man sich sehr nahe bei der reflectirenden Ebene befindet. Die Erfahrung zeigt indeſs genügend, daſs zur Reflection der Schallwellen keine ganz ebene Flächen erforderlich sind, wie zur Erzeugung der Bilder durch Spiegel, eine durch La Grange[1], d'Alembert[2] und Euler[3] genügend erwiesene Wahrheit. Die verschiedensten Körper, als Mauern, Wälle, Festungswerke, Häuser, Berge, Bergschluchten, Felsen, verfallene Thürme, Höhlen, hohe Ufer, Wälder u. dergl. sind daher geeignet, den Schall zu reflectiren, auch leidet es keinen Zweifel, daſs der Schall von den Wolken reflectirt werde, und daſs hieraus, verbunden mit den wiederhallenden Gegenständen auf der Erdoberfläche, das Rollen und tiefere Tönen des *Donners* gröſstentheils erklärbar sey[4]. Unter die reflectirenden Flächen gehören, den Erfahrungen gemäſs, auch die Segel der Schiffe auf dem Meere und hochgethürmte Wellen. Letztere geben einen Wiederhall insbesondere der Schüsse nach Vögeln, erstere ein vernehmliches Echo der Worte, welche durch ein Sprachrohr gerufen werden, jedoch hauptsächlich nur dann, wenn der Schall gegen die convexe Fläche der Segel mehrerer, in nicht zu groſser Entfernung befindlicher Schiffe gerichtet ist[5].

---

1 Lagrange in Misc. Taur. 1. 93.

2 d'Alembert in Encyclopédie par d'Alembert et Diderot. Art. Echo.

3 Mém. de Berlin. 1765. Nov. Comm. Acad. Pet. XVI.

4 Vergl. *Donner*.

5 Journ. de Ph. 1773. II. 192.

Inzwischen hat die Untersuchung der individuellen Beschaffenheit solcher Flächen, welche ein Echo zu erzeugen geschickt sind, die Naturforscher vielfach beschäftigt. Sofern Brisson, Nollet und die meisten Physiker voraussetzten, dafs diese Wirkung auf ähnlichen Gesetzen beruhe, als die Spiegelung des Lichtes, hat man den Ausdruck *Katoptrik des Schalles* einführen gewollt, diesen aber als unpassend bald mit dem mehr geeigneten, nämlich *Kataphonik* oder *Katakustik* vertauscht, auch heifst der Ort, wo der Schall erzeugt wird, der *phonische*, derjenige aber, welcher die Schallstrahlen zurückwirft, der *phonokamptische*, wobei man das Ganze durch *Phonokamptik* bezeichnet und sowohl das phonische, als auch das phonokamptische Centrum unterscheidet, deren Bedeutung aus den griechischen Worten *φωνή* Ton, Stimme und *κάμπτειν* umbiegen, zurückbringen, leicht abzuleiten ist. L. Euler [1] und diesem folgend Chladni [2] führen die Erscheinungen des Echo auf die Schwingungen einer Luftsäule in einer Röhre von beliebiger Weite und ohne Rücksicht auf ihre Krümmungen zurück. Hiernach würde ein freier Raum einer unendlich langen, an beiden Enden offenen Röhre gleichen, in welcher kein Echo entstehen kann, weil die schwingende Luftsäule nirgend einen Widerstand findet. Irgend eine feste Grenze gäbe dagegen eine an einem Ende verschlossene, an der andern offene und in unendliche Ferne sich erstreckende Röhre. Im Allgemeinen würde dann der Schall im Verhältnifs der Entfernung des Ohrs vom tönenden Körper, dividirt durch die Entfernung, welche der Schall in einer Secunde durchläuft, ein Echo eszeugen, oder wenigstens würde hierdurch die Secundenzahl des Ausbleibens der ersten wiederkehrenden Schallwelle angegeben werden. Obgleich aber diese Theorie sehr gelehrt und sinnreich ausgedacht ist, Chladni auch eine Anwendung davon auf den Wiederhall macht, welcher sich in Hohlwegen, langen Stollen, Canälen und zwischen Felsschluchten u. dergl. zeigt, so ist doch diese Theorie keineswegs durch die Erfahrung genügend begründet, vielmehr scheint sie mit den Resultaten der von Biot [3] angestell-

1 Nov. Com. Petr. XVI.
2 Die Akustik. Leipz. 1802. 4. §. 212.
3 Mém. de la Soc. d'Arcueil. II. 422.

ten Versuche nicht übereinzustimmen. Wenn er nämlich in die 951 Meter lange, aus gusseisernen Röhren bestehende Wasserleitung an einem Ende hineinredete, so hörte er mehrere Echo's, welche sich in gleichen Zeiten wiederholten. Bei einem Versuche hörte er deren sechs, welche sämmtlich in Zeitintervallen von 0,5 Secunden einander folgten, und das letzte wurde nach Verlauf von etwas weniger als 3 Secunden gehört, welche Zeit gerade erforderlich war, damit der Schall von einem Ende zum andern gelangen konnte. Die Erscheinung war an beiden Enden gleich, wenn man hineinredete, ein Zuhörer am andern aber nahm nur einen Schall wahr. Chladni gesteht zu, dass diese Erfahrung mit seiner Theorie nicht übereinstimmt, wonach die Intervalle zwischen den Echo's $= 2 . \frac{951}{338} = 5'',6$ hätten seyn müssen, wenn man die Länge der Röhre $= 951$ und den Raum, welchen der Schall in einer Secunde durchläuft $= 338$ Meter annimmt, weswegen er die Ursache der kürzeren Zeitdauer in den Schwingungsknoten sucht, welche sich in dem gegen seine Länge verhältnissmässig sehr engen Rohre erzeugten.

Auf eine ähnliche Weise als L. Euler führt auch Poisson [1] die Erscheinungen des Echo's auf die Zurückwerfung der Schallwellen von einem Widerstand leistenden Körper zurück, indem er annimmt, dass die durch den Schall in wellenartige Schwingungen gesetzte Luft gegen die festen Hindernisse gestützt sey, und somit die Schallwellen beim Zurückgange die nämlichen Gesetze befolgen, als worauf sich die Reflection des Lichtes zurückführen läſst. Hiernach müſsten sich also die Erscheinungen des Echo's nach katoptrischen Grundsätzen eben so gut, als aus der Theorie der Schallwellen erklären lassen. Inzwischen darf hierbei nicht übersehen werden, dass eine jede dieser Ansichten eine hierzu geeignete und auf eine bestimmte Weise gerichtete Fläche voraussetzt. Nun ergiebt zwar die Erfahrung, dass manche diesem gemäſs beschaffene Ebenen, z. B. Mauern, die Seiten groſser Häuser, Kirchen u. dergl. ein dort erwartetes Echo geben, allein in weit *zahlreicheren* Fällen bleibt dasselbe gerade an solchen Orten oft aus, und wird wiederum durch andere Gegenstände

1 Journ. de l'École Polyt. VII. p. 319.

erzeugt, von denen man eine solche Wirkung nach theoretischen Gründen nicht erwarten sollte, wohin namentlich die, keine eigentliche Fläche darbietenden, Bäume der Wälder, gehören, deren individuelle Wirksamkeit bei der Erzeugung der Echo's überhaupt unter die schwierigsten Probleme gehört. Viele Erscheinungen führen daher auf die Vermuthung, daſs gekrümmte Flächen und höhlenartig gewölbte Räume zur Erzeugung eines Echo's am meisten geeignet sind, denn wirklich geben verfallene Thürme, gekrümmte Ufer, Bergschluchten u. dergl. oft wider Erwarten die schönsten Echo's, ohne daſs man jedoch eine feste Theorie, noch weniger eine geometrische Construction derselben auf solche Erfahrungen zu gründen im Stande ist.

Auf allen Fall darf man es hierbei als ausgemacht ansehen, daſs glatte Flächen die Schallwellen stärker und besser zurückwerfen, als rauhe und bestaubte oder mit Schmutz überzogene, indem die Wände neuer Häuser ungleich stärker wiederhallen, als alter oder bewohnter. Manche werden indeſs geneigt seyn, diese auffallende Wirkung vielmehr der gröſseren Elasticität solcher neuen Wände beizulegen, wodurch sie mehr geeignet sind, selbst in Schwingungen versetzt zu werden, auch scheinen die vielen Echo's durch verfallene Mauern erzeugt, hiergegen zu streiten, welche sich indeſs aus andern Gründen erklären lassen, wie weiter unten gezeigt wird.

Hassenfratz [1] meint, man habe bei den versuchten Erklärungen dieser Phänomene einen eben so wichtigen, als nahe bei der Sache liegenden Umstand zu berücksichtigen unterlassen, nämlich das Mittönen derjenigen Körper, welche die Echo's erzeugen. Daſs viele Körper, namentlich elastische und gespannte, als Glasscheiben, Gläser, Stahlstäbe, die Saiten der Instrumente u. a. durch einen Schall leicht in so starke Schwingungen versetzt werden, um zu zittern oder selbst einen minder hörbaren Schall hervorzubringen, wuſste man seit sehr langer Zeit [2], und daſs alle mit dem tönenden in Verbindung stehenden oder durch einen starken Schall getroffenen Körper, selbst die wenig elastischen, eine gleiche Wirkung

---

1 Encyclopédie méthod. T. III. p. 27.
2 Vergl. *Resonanz*.

zeigen, ist neuerdings durch Chladni und Savart erwiesen. Man darf daher kaum bezweifeln, daſs auch die den Schall zurückwerfenden Körper in Schwingungen versetzt werden; allein hiermit ist noch nicht ausgemacht, daſs die Entstehung des Echo hierdurch erklärlich werden sollte, indem auch dann die Frage ganz unentschieden bleibt, warum unter gewissen Bedingungen ein Echo erzeugt wird, und unter andern, anscheinend ganz gleichen, wider alle Vermuthung ausbleibt. Zur Begründung eines Einflusses der Bebungen derjenigen Körper, welche ein Echo bilden, auf die Entstehung und individuelle Beschaffenheit des letzteren läſst sich indeſs allerdings die oben schon erwähnte Thatsache anführen, daſs manche stumpf, andere aber hell und glockenartig wiedertönen. Hassenfratz führt ferner an, daſs verschiedene Echo's in unterirdischen Gallerien bloſs gewisse Töne wiederhallen, und nicht eher, als bis der ursprüngliche Schall ein bestimmter musikalischer Ton geworden sey. Wichtiger noch ist die von ihm erzählte Thatsache, daſs im alten Collegium von Harcourt die von einem in der Mitte des Hofes stehenden Menschen hervorgebrachten tiefen Töne durch das Echo in der Richtung der Straſse La Harpe, die hohen aber in einer 50 Grade nördlichern Richtung wiederhohlt wurden.

Daſs indeſs verschiedene Echo's durch die Schwingungen von Bäumen, einzelnen Mauerresten, isolirten Felsen, Fensterrahmen mit oder ohne Glas u. dgl., wo nicht eigentlich erzeugt, aber doch verstärkt, modificirt und in einigen Fällen erst hörbar werden, scheint nach verschiedenen Beobachtungen kaum zweifelhaft zu seyn, auch ist es wahrscheinlich, daſs das Wiederhallen und die Ech'os mancher Wälder hierauf und auf der individuellen Gruppirung der Bäume beruhen, wenn gleich die Entstehung mancher Echo's durch hohle Fluſsufer hiermit noch nicht erklärt ist. Als Beweis hierfür führt Hassenfratz [1] an, daſs Gay-Vernon in seiner Jugend ein Echo kannte, welches durch das Gebäude einer Mühle erzeugt wurde. Nach einem Aufenthalte von wenigen Jahren in Paris suchte er bei seiner Rückkunft das Echo wieder, fand es aber verschwunden, ohngeachtet bei näherer Untersuchung alle Gebäude der Mühle durchaus unverändert waren; vor densel-

1 a. a. O. p. 28.

ben aber einige Bäume fehlten, welche früher dort standen, und also nothwendig die Entstehung des Echo's bedingt haben mufsten. Durch die Erzählung dieses Ereignisses veranlafst untersuchte Hassenfratz ein in der Ebene des Mont-Rouge bei Paris befindliches Echo, welches durch eine Mauer mit einigen Reihen Bäume vor derselben in der Art erzeugt zu werden schien, dafs das phonokamptische Centrum in der Mauer zu liegen schien. Hassenfratz liefs in einer geeigneten Entfernung Töne hervorbringen, und näherte sich der Mauer dann mehr und mehr, wobei das eigentliche Echo allmälig verschwand, aber eine gewisse Resonanz wahrgenommen wurde, welche im Umkreise der Bäume am stärksten war, hinter denselben aber, nach der Mauer hin, wieder abnahm, bis zum gänzlichen Verschwinden. Als er darauf sein Ohr an die Mauer und dann auch an die Bäume anlegte, empfand er die Schwingungen nicht jener, sondern dieser. Auf ähnliche Weise fand er Echo's entstehen durch Mauern und Wände mit Fenstern, wenn diese verschlossen waren, aber auch wenn die Fenster geöffnet, die Zimmer aber verschlossen waren.

Darf man diese Erfahrungen als gegründet voraussetzen, so folgt daraus in Uebereinstimmung mit andern akustischen Gesetzen, dafs zur Erzeugung eines Echo nicht blofs eine die Schallstrahlen reflectirende Fläche erforderlich ist, sondern dafs die Klarheit und Stärke desselben zugleich durch die Schwingungen der reflectirenden Flächen selbst oder anderer, in der Nähe derselben befindlicher, hierzu geeigneter Körper bedingt wird, von denen dann vermuthlich der hellere oder stumpfere Ton der Echo's abhängen mag. Einen zu hohen Werth darf man indefs auf diese Resonanzmittel nicht legen, indem die Sprachgewölbe und Flüstergallerieen genügend beweisen, dafs die Reflection der Schallwellen allerdings nach den bekannten katakustischen Gesetzen geschieht, und hierbei auf gleiche Weise als bei den Lichtstrahlen die Gesetze der Reflection nach der Beschaffenheit des Einfalls- und Ausfalls-Winkels anwendbar sind, obgleich man auch in diesen Fällen die Bebungen der reflectirenden Flächen als mitwirkend ansehen kann. Ob endlich zur Entstehung eines Echo's die Concentrirung mehrerer reflectirter Schallstrahlen, also zur Vereinigung derselben eine gewölbte Fläche erforderlich sey,

ist hierdurch nicht ausgemacht, und folgt keineswegs nothwendig aus der Frfahrung.

2. Menge und Entfernung der reflectirenden Flächen.

Wenn ein Echo gehört wird, so ist der Ort von wo die Schallstrahlen ausgehn, mit demjenigen, wohin sie reflectirt werden, oder nach der Kunstsprache das *phonische* und *phonokamptische Centrum* entweder zusammenfallend oder verschieden. Im ersteren Falle hört der Redende seine eigene Stimme, oder einen durch ihn selbst hervorgebrachten Ton, welches die gemeinste Art der Beobachtung ist, im letzteren dagegen, befindnet sich der Hörende an einem anderen Orte, als an welchem der Schall erzeugt wird. Die letztere Art der Echo's begreift wieder zwei Verschiedenheiten, indem entweder der Schall selbst und das Echo desselben, oder nur das letztere allein gehört wird. Bloſs in diesem Falle würde es möglich seyn, dem phonokamptischen Mittelpuncte sehr nahe zu kommen, wenn man sich hierdurch nicht zugleich dem Wege, auf welchem der Schall zu der das Echo erzeugenden Fläche gelangt, zu sehr näherte, wodurch der Schall und sein Echo zusammenfallen, und somit nicht einzeln vom Ohre wahrgenommen werden können. Auf allen Fall ist es daher nothwendig, daſs zwischen der Wahrnehmung des erzeugenden Schalles und des dadurch hervorgebrachten Echo's so viele Zeit verstreicht, daſs beide einzeln durch das Ohr empfunden werden können. Es kommt also darauf an genau zu bestimmen, wie viele einzelne Laute in einer gegebenen Zeit das Ohr hören und unterscheiden kann. Hierbei dürfte allerdings die individuelle Schärfe des einzelnen Ohres zu berücksichtigen seyn, im Allgemeinen aber wird mindestens nahe genau angenommen, daſs das Ohr im Mittel etwa 8, das geübteste nicht mehr als 9 einzelne Laute in einer Secunde unterscheiden könne. Ist also die Zeit zwischen der Wahrnehmung des Schalles und seines Echo's kürzer als $\frac{1}{9}$ Secunde, so werden beide zusammenfallen, und einander verstärken, aber ein Echo wird nicht gehört werden. Dieser Fall tritt ein, wenn man sich der Echo gebenden Fläche zu sehr nähert, wodurch dasselbe also verschwindet, noch mehr aber in Kirchen, neuen und noch unbewohnten Häusern, in denen bekanntlich ein jeder Schall nicht eigentlich vervielfältigt, wohl aber oft unglaublich verstärkt und nachhallend

gemacht wird. Nennt man allgemein den Raum, welchen der ursprüngliche Schall bis zum Ohre des Hörenden zu durchlaufen hat $= w$; den des reflectirten Schalles $= W$; den Raum, welchen der Schall in einer Secunde durchläuft $= k$, so ist das zwischen beiden liegende Zeitintervall $z = \frac{W - w}{k}$. Ist hierbei z kleiner als $\frac{1}{9}$ oder als 0,112, so wird gar kein Echo gehört werden. Die genauesten Versuche haben ergeben, dafs der Schall durch die atmosphärische Luft innerhalb einer Secunde bei 0° Temperatur einen Raum von 1020 Par. F. durchläuft, und für jeden Grad der Centesimalscale erhöhete Temperatur fast 2 Fufs mehr. Nimmt man also 15° C. als mittlere Temperatur an; so wird $k = 1050$ und $z = \frac{W - w}{1050}$. Hört der Redende seine eigenen Laute durch das Echo wiederhallen, so ist $w = 0$, und die kürzeste Entfernung, bei welcher dieses unter den angegebenen Bedingungen möglich seyn soll, giebt $\frac{1}{9} = \frac{W}{1050}$. woraus $W = 116,67$ par. F. gefunden wird, und weil in diesem Falle der Schall eine gleiche Zeit gebraucht, um zu der reflectirenden Ebene zu gelangen, als wieder von derselben zurück; so ist $\frac{116,67}{2}$ oder 58,34 Par. F. die kürzeste Entfernung, in welcher ein Redender von der brechenden Fläche entfernt seyn mufs, wenn er seinen eigenen Laut reflectirt hören will. Erhält w irgend einen Werth, oder ist der Hörende von dem schallenden Körper entfernt, so mufs W um eine gleiche Gröfse wachsen, und wenn der Hörende daher den ursprünglichen Schall und auch das Echo hören kann, so ist auch in diesem Falle 58,34 Par. F. die kürzeste Entfernung, auf welche sich der Hörende oder der den Schall Erzeugende dem reflectirenden Gegenstande nähern darf, wenn der Schall und sein Echo unterschieden werden soll. Hierbei kann w den gröfsten Werth erhalten, wenn der Hörende und der den Schall erzeugende in einer geraden Linie liegen, woraus folgt, dafs man auf keine Weise der wiederhallenden Fläche näher kommen kann, als etwa 58 P. F., wenn man den ursprünglichen Ton gleichfalls hören will, eine in den meisten Fällen, mindestens bei grofser Annäherung an die reflectirende Fläche, nothwendige Bedingung, weswe-

gen eine genaue Betrachtung des eigentlichen phonokamptischen Mittelpunctes und die bestimmte Kenntnifs solcher katakustischen Flächen fast eine Unmöglichkeit ist. Uebrigens giebt es in gewölbten Räumen allerdings Echo's, bei denen die Entfernung bis zur nächsten reflectirenden Fläche keine 58 P. F. beträgt, allein in diesen Fällen kommt der Schall nicht von der reflectirenden Fläche unmittelbar zurück, sondern wird von der ersten gegen eine zweite oder auch gegen mehrere geworfen, bis er zum Ohre zurückkommt.

Ist das phonokamptische Centrum nicht weiter entfernt, als erfordert wird, um die ausgesprochene Sylbe und die durch das Echo wiederholte einzeln zu verstehen, so hat man ein sogenanntes *einsylbiges Echo* (*echo monosyllaba*), können aber zwei oder mehrere Sylben auf diese Weise deutlich gehört werden, so hat man ein *vielsylbiges Echo* (*echo polysyllaba*). Diese Art der Bezeichnung ist zwar allgemein angenommen, und wird auch durch die individuelle Art der Prüfung der Echo's sehr natürlich herbeigeführt, allein sie ist durchaus unwissenschaftlich, und hindert die genauere Untersuchung der wiederhallenden Flächen. Man hat nämlich kein bestimmtes Mafs der Zeit, welche zum Aussprechen einer gewissen Menge von Sylben erfordert wird, deren Länge und Schwierigkeit des Aussprechens obendrein nicht gleich ist. Weifs man daher auch, wie viel Sylben ein Echo wiederholt, kennt man zugleich die Sylben, welche dasselbe deutlich wiedergegeben hat, so ist damit die Entfernung noch keineswegs gegeben, und noch nicht bestimmt, wo der phonokamptische Mittelpunct eigentlich zu suchen sey. Inzwischen sind die meisten Beobachtungen der Echo's auf dieses Mafs zurückgeführt, aber die Angaben selbst beweisen die Zweckwidrigkeit desselben. Blancanus [1] fordert 120 F. Entfernung für jede deutlich gehörte Sylbe; Mersenne [2] dagegen nur 69 Par. F.; John Morton [3] für ein einsylbiges 90 engl. F.; für ein zweisylbiges 105 F.; für ein dreisylbiges 160 F.; für ein viersylbiges 182 F.; für ein fünfsylbiges 204 F.; das Echo zu Oxen-

1 Echometria theoretica in seiner Sphaera mundi p. 5 Vergl. John Morton Natural History of Northamptonshire p. 358.

2 Brisson Dict. de Phys. art. Echo.

3 Natural Hist. of Northamptonshire. cap. V. p. 358.

don aber wiederholte bei einer Entfernung von 673 F. 13 Sylben. Dr. PLOT [1] hörte bei dem berühmten Echo zu Woodstock bei Oxford in einer Entfernung von 2280 F. bei Tage 17, bei Nacht 20 Sylben, welches 114 F. auf eine Sylbe betragen würde. EBELL [2] beobachtete, dafs ein vorzügliches Echo zu Derenburg die 27 Sylben *Conturbabantur Constantinopolitani innumerabilibus sollicitudinibus* deutlich nachsprach, und doch fand er die Entfernung nur 254 Schritte, welche er zu 550 F. annimmt. Rechnet man einen Schritt auch, wie früher bei manchem Militär, zu 2⅔ F., so kommen dennoch nur 677 F. heraus, auf jede Sylbe aber nur 25 F., der Schall würde bei nur 5° C. Temperatur 1,3147 Secunden zum Durchlaufen dieses Raumes gebraucht haben, und es käme somit auf jede Sylbe nicht völlig 0,05 also nicht ein halbes Zehntel einer Secunde, welches voraussetzen würde, dafs jemand 20 Sylben in einer Secunde aussprechen könnte. Fragt man aber, wie viele Sylben duıch ein vollkommenes Sprachorgan in einer Secunde gesprochen werden können, so ist die Beantwortung dieser Frage abermals höchst schwierig, weil die Länge derselben, die Art und der Wechsel der Consonanten in ihnen und die individuelle Uebung, welche man in Aussprechen derselben sich erworben hat, jede genaue Bestimmung unmöglich machen. LICHTENBERG [3] giebt an, das Aussprechen der ersten zehn Zahlen oft mit Hülfe einer genauen Pendeluhr versucht, und gefunden zu haben, dafs er hierzu im Mittel einer Secunde Zeit bedurfte. Diese 10 Sylben haben eine sehr leichte Folge, und ein jeder hat sich an das Aussprechen derselben sehr gewöhnt, allein es möchte dennoch schwer halten, sie alle in dem angegebenen Zeitraume rein hervorzubringen. HUTTON [4] dagegen meint, es würden gewöhnlich nur 3 bis 4 Sylben in einer Secunde gesprochen, und rechnet dann für 4 Sylben eine Entfernung des reflectirenden Körpers von 500 engl. Fufs, und in dem nämlichen Verhältnifs für mehrere Sylben. Dieses gäbe als gewifs nahe richtiges Mafs für eine Sylbe eine Entfernung von 125 engl. F. und für Sylben eine Entfernung $= n \times 125$ F.

---

1 Natural Hist. of Oxfordshire. cap. 1. p. 7.
2 LICHTENBERG vermischte Schriften VIII. 196.
3 Vermischte Schriften VIII. 221.
4 Dict. I. 449.

Will man indeſs die Entfernung der reflectirenden Fläche genau wissen, welches insbesondere dann von Wichtigkeit ist, wenn man den bestimmten reflectirenden Gegenstand zur näheren Untersuchung seiner Wirkungsart kennen lernen will; so muſs man nur *einen* Laut kurz aussprechen und das Zeitintervall zwischen diesem und dem ersten Schalle des Echo's wo möglich mit einer Tertienuhr, oder in Ermangelung dieser mit einer Secundenuhr durch Wiederholung des Versuches genau messen. Hat man auf diese Weise die Zeit in Secunden möglichst scharf bestimmt, die Temperatur der Luft nach Schätzung nahe richtig angenommen, so findet man die Entfernung des reflectirenden Gegenstandes $= \frac{z \times (1019{,}12 + t.\ 1{,}926)}{2}$ mit hinlänglicher Schärfe, wenn z die Zeit in Secunden, t aber die Grade der Temperatur nach der hunderttheiligen Scale bezeichnen.

In den wenigsten Fällen ist der Beobachter indeſs mit den hierzu erforderlichen Werkzeugen, namentlich einer richtigen Secundenuhr versehen, und doch wird es die Neugierde des wissenschaftlich Gebildeten reitzen, und den Wunsch, sich nützlich zu machen, in ihm erregen, wenn ihm zufällig die Gelegenheit geboten wird, ein vorzügliches Echo näher zu untersuchen. Um in diesem Falle eine genauere Zeitmessung zu suppliren, schlägt Lichtenberg[1] vor, sich überhaupt die Fertigkeit zu verschaffen, eine gewisse Menge Wörter gleichmäſsig auszusprechen, um hiernach in vorkommenden Fällen die Zeit zu messen, und er bringt hierzu die Zahlen von eins bis zehn in Vorschlag, welche man alle oder deren so viele wählen könnte, als man sich gerade gewöhnt hat, in einer Secunde bequem auszusprechen. Daſs man durch dieses bekannte Mittel allerdings ein ziemlich genaues Zeitmaſs erhalten kann, ist gewiſs, allein es läſst sich nicht gut auf Theile einer Secunde ausdehnen, wenn gleich ganze Secunden scharf genug dadurch gemessen werden können. Noch besser dürfte es daher seyn, sich einer gewöhnlichen Taschenuhr zu bedienen, bei derselben vorher oder nachher die Menge der Schläge der Unruhe zu bestimmen, welche auf eine Minute gehen, dann durch Division den Werth eines einzigen Schlages zu finden, welcher meistens 0,25 Secunden beträgt und hierdurch also ein weit genaueres, obgleich bei dem unregelmäſsigen Gange schlechterer

1 a. a. O.

Uhren nicht ganz zuverlässiges Maſs kleiner Zeittheilchen zu erhalten. Die Bestimmung der Temperatur bleibt immer etwas unsicher, allein man wird dennoch die Entfernung eines Echo's nach der angegebenen Formel nahe richtig berechnen, und mit einer auch nur unvollkommenen Messung vergleichen können. Derham hielt diese Art der Messung durch das Zeitintervall zwischen Ton und Wiederhall für so genau, daſs er umgekehrt die Breite der Themse bei Woolwich durch das Ausbleiben des Echo's auf dem jenseitigen Ufer maſs [1].

Rücksichtlich der Entfernung der reflectirenden Fläche ist endlich noch Folgendes zu berücksichtigen. Manche vielsylbige Echo's werden durch Gegenstände erzeugt, welche sich in sehr groſser Entfernung befinden, wie schon aus der Menge der wiederholten Sylben von selbst folgt. Unter den angegebenen Echo's war das zu Oxendon 673 F., das bei Woodstock 2280 F., das bei Derenburg 677 F. entfernt. Derham untersuchte ein Echo, Woolwich gegenüber, und fand, daſs der über die Themse gehende und wiederkehrende Schall einer kurz ausgesprochenen Sylbe drei Secunden ausblieb [2], welches für eine mittlere Temperatur von 15° C. eine Entfernung von 1575 F. voraussetzt. Bei den meisten der genannten mögen die Versuche wohl mit einem Sprachrohre angestellt seyn, und so läſst sich also nicht entscheiden, ob die Entfernung, welche der Schall zu durchlaufen hatte, gröſser war, als wohin die Stimme eines Menschen reicht. Am auffallendsten aber und am unerklärlichsten ist das Phänomen, welches das Echo bei Derenburg darbot. Es ist nämlich schon oben bemerkt, daſs die Entfernung der reflectirenden Mauer mit der Zahl der wiederholten Sylben in gar keinem Verhältnisse steht, denn wenn auch angenommen würde, daſs Ebell zehn der angegebenen Sylben in einer Secunde ausgesprochen habe, so setzt dieses doch eine Entfernung von mindestens 1050 F. voraus, welche mit der Messung im Widerspruche steht. Sollten beide in Uebereinstimmung gebracht werden, so müſste man annehmen, der Schall sey zuvor von den einzelnen Theilen der Mauer so lange hin und her geworfen, bis er zum Ohre zurückkommend die Länge des angegebenen Weges zurückgelegt

---

1 Hutton Dict. I. 449.

2 Ebendaselbst.

habe. Bei den vielfachen Echo's kommt die nämliche Frage in Betrachtung, Angenommen nämlich, die Entfernung der ersten reflectirenden Fläche sey die kleinstmögliche, so gäbe dieses 58 F., und wenn dann diese zehnmal in einer Secunde wiederholt würde, so müfste der Schall der letzten Wiederholung noch aufserdem einen Raum von 1050 F., im Ganzen also 1108 F. durchlaufen haben. Wird aber der Schall durch die Reflection nicht verstärkt, so kann die erste Sylbe nur so gehört werden, als käme sie von einem 116 F. entfernten Menschen, folglich betrüge der ganze durchlaufene Raum in dem angegebenen Falle 1166 F. Wie weit die Menschenstimme im Freien reiche, ist zwar nicht genau ausgemacht, indefs kann mit LAMBERT[1] im genäherten Werthe etwa 800 F. angenommen werden; dann folgt aber, dafs die meisten vielsylbigen und vielfachen Echo's gar nich gehört werden könnten. Das Echo bei Derenburg machte aber nicht blofs stark gerufene Laute wiederhallen, sondern selbst das Stampfen und Schnaufen der Pferde wurde von demselben wiederholt, und überhaupt darf man im Allgemeinen annehmen, dafs gute und vorzüglich helle Echo's die Laute stärker wiederhallen, als sie auf die doppelte Entfernung gehört werden würden, ja sogar zuweilen die Worte vernehmlicher wiedergeben, oder mindestens wiederzugeben scheinen, als sie ursprünglich gesprochen sind. Ein auffallendes und interessantes Beispiel hiervon giebt das ausnehmend schöne Echo, welches in der Mitte der neu erbauten katholischen Kirche in Darmstadt gehört wird, und ganz entschieden durch die Reflection der Schallwellen von der gewölbten Kuppel entsteht. Diese Kuppel ist 150 F. hoch, und der Schall mufs also hin und her gehend 300 F. durchlaufen, eine Strecke, auf welche man einen im Freien Redenden nicht zu hören vermöchte. Dennoch ist der Wiederhall des Echo's so laut, klar und vernehmlich, dafs die ursprünglichen und die reflectirten Worte von einem wenige Fufs von dem Redenden entfernt Stehenden mit gleicher Stärke gehört werden.

Was für eine Ursache diese Verstärkung des Schalles hervorbringe, ist deswegen schwer zu bestimmen, weil wir die eigenthümliche Art der Reflection des Schalles durch die verschiedenen Körper nicht kennen; auch ist mir nicht bekannt,

---

1 LICHTENBERG a. a. O. p. 213.

dafs aufser LICHTENBERG die Physiker eine Erklärung dieser Sache versucht haben. Dieser findet die Ursache der Verstärkung theils in den kleinen ausgehöhlten Räumen verwitterter Mauern mit ihren vielen, im zerfallenen Mörtel hervorragenden Steinchen, wodurch eine sehr grofse Menge solcher Ebenen gebildet werden, welche die auffallenden Schallstrahlen zum Ohre des Hörenden reflectiren. Auf gleiche Weise sollen auch die vielen Ebenen, welche namentlich Tannenbäume mit ihrer rauhen Rinde bilden, zur Erzeugung eines stark schallenden Echo's vorzüglich geeignet seyn. Ferner meint LICHTENBERG, dafs schräg auffallende Strahlen, welche also nicht reflectirt werden können, doch eine Bebung der Mauer erzeugen, und hierdurch die Reflection verstärken[1].

Hierin liegt allerdings viel Wahres, und namentlich hat der erste Grund manches für sich, sofern das Echo durch eine gerade Mauer hervorgebracht wird, von welcher nicht viele Schallstrahlen reflectirt werden könnten, wenn sie als völlig eben und gleichsam spiegelnd gedacht würde; in welchem Falle also die nach allen Richtungen liegenden Ebenen der verwitterten Theile und hervorstehenden Steinchen eine grofse Menge solcher Flächen darbieten müfsten, von denen der einfallende Schallstrahl zum Ohre des Hörenden reflectirt würde. Im Allgemeinen aber scheinen mir folgende Ursachen zur unleugbaren Verstärkung des Schalles durch katakustische Gegenstände beizutragen:

1. Sobald die Luft nicht völlig frei, sondern gegen einen festen Körper gestützt ist, sich also nach L. EULER's, CHLADNI's und POISSON's oben mitgetheilter Ansicht in einer an einem Ende verschlossenen, am andern unendlich langen offenen Röhre befindet, mufs die rückwärts gehende Fortpflanzung des Schalles deswegen vermehrt werden, weil die Wellen desselben einen Widerstand finden. Befinden sich noch aufserdem an den Seiten Bäume oder sonstige feste Gegenstände, so gleicht die Luft um so mehr einer in eine Röhre eingeschlossenen, und die Schallwellen werden daher weiter fortgepflanzt werden, da nach den Versuchen von BIOT[2] die Entfernung, bis auf welche der Schall durch enge Röhren fortgeleitet wird, unbegrenzt ist.

---

1 a. a. O. p. 214.

2 Vergl. *Schall; Fortpflanzung desselben.*

2. Die reflectirenden Flächen sind meistens gekrümmt, sammeln daher mehrere Schallstrahlen, und wenn gleich ein einzelner derselben auf die gegebene Weite verschwinden würde, so macht doch die vereinte Menge den Schall hörbar und lauter. Sie gleichen in gewissem Sinne den Sprachgewölben, wie namentlich bei dem erwähnten Echo in Darmstadt der Fall ist.

3. Eine Hauptsache aber ist die Mitwirkung der Bebungen, worein die reflectirenden Körper gesetzt werden, und wodurch sie eine Art Resonananz hervorbringen. Dafs solche Schwingungen wirklich statt finden, darf in Folge der oben erwähnten Beobachtungen von Hassenfratz und der zahlreichen Versuche von Chladni und Savart nicht bezweifelt werden. Von welchem Einflusse auf die Stärke des Schalles aber die Bebungen derjenigen Theile sind, welche bei der Erzeugung eines Tones zugleich mit in Schwingungen versetzt werden, beweisen insbesondere die Resonanzböden, ohne deren Mitwirkung viele Instrumente dumpf tönend und kaum hörbar seyn würden. Einen Beweis hiefür geben ferner die neuen, und daher noch mehr elastischen Wände unbewohnter Häuser durch den unglaublichen Wiederhall, welchen sie erzeugen, und wenn Lichtenberg die Ursache des Erfahrungssatzes, dafs alte Mauern am leichtesten ein Echo geben, in der Rauheit ihrer Oberfläche und der dadurch vermehrten Zahl der reflectirenden Flächen findet, so mag dieses allerdings gegründet seyn, allein es ist gewifs zugleich mehr als wahrscheinlich, dafs auch ihre vermehrte Elasticität hierbei wirksam ist, wodurch sie leichter und stärker schwingen, folglich auch eine gröfsere Resonanz erzeugen, indem bei alten Mauern der Mörtel ganz erhärtet ist, und mit den Steinen eine gemeinschaftliche steinartige Masse bildet.

Giebt es mehrere Körper, welche den Schall auf einen einzelnen Punct reflectiren, und liegen diese in ungleichen Entfernungen, oder werden einige Schallstrahlen nach einer einzigen Reflection, andere nach mehreren zum Ohre zurückgeworfen, so entsteht ein zwei- oder vielfaches Echo. Eigentlich kann man dabei so viele Echo's annehmen, als Wiederholungen statt finden, denn eine jede von diesen setzt einen besonderen reflectirenden Gegenstand voraus, oder hat ein eigenthümliches phonokamptisches Centrum, und es ist daher auf eine jede derselben alles dasjenige anwendbar, was oben

vom einfachen Echo gesagt ist. Die vielfachen sind daher gleichfalls einsylbig und mehrsylbig, jedoch können sie wegen der sonst erforderlichen langen Zeit des Ausbleibens der letzten Wiederholungen nicht füglich so vielsylbig seyn, als die einfachen. Weil ferner der Schall so viel schwächer werden muſs, je gröſser der Weg ist, welchen derselbe durchläuft, so folgt hieraus nothwendig, daſs die letzten Wiederholungen des vielfachen Echo's weniger vernehmlich sind, weswegen auch zahlreichere Wiederholungen bei einem starken Schalle gehört werden, als bei einem schwachen, auch mehrere derselben in der Stille der Nacht als bei Tage. Im Allgemeinen sind die Wiederholungen ungleich an der Zahl, indem man deren von zwei bis dreiſsig und sechzig, ja noch wohl mehr gefunden haben will, wovon einige jedoch nur dadurch erklärlich sind, daſs die Schallstrahlen von zwei parallelen phonokamptischen Flächen dem zwischen ihnen befindlichen Ohre auf gleiche Weise vervielfältigt zugeworfen werden, als eine unendliche Menge Bilder des nämlichen Gegenstandes von zwei parallelen Spiegeln zu dem zwischen ihnen befindlichen Auge gelangen müssen[1].

3. Merkwürdige Echo's.

Es ist oben schon angegeben, daſs man unter Echo auch denjenigen Ort versteht, wo sich ein den Schall reflectirender Gegenstand befindet, oder wo man ein Echo hört. Solche Oerter oder sogenannte Echo's sind in Menge vorhanden, und ihre Zahl würde übermäſsig groſs werden, wenn man auch nur die vorzüglichern aufzuzeichnen sich die Mühe geben wollte. So giebt es namentlich hier in Heidelberg ein merkwürdiges Echo, welches sehr geeignet ist, das Rollen des Donners und die abwechselnde Verstärkung und Schwächung seines Schalles anschaulich zu machen. Ein Pistolenschuſs nämlich, von einer etwas tieferen Stelle des Heiligenberges ausgehend, wird aus einer gegenüberliegenden Bergschlucht reflectirt, so daſs man etwas weiter aufwärts, zur Seite und hinter dem schallenden Gegenstande, den Knall des Geschützes nicht selbst hört, wohl aber den Wiederhall desselben, und zwar ganz eigentlich donnerähnlich mit einigen wiederkehrenden Verstärkungen bis zum

1 Vergl. *Spiegelcabinet.*

allmäligen Verschwinden. Solche Echo's giebt es gewifs noch viele; indefs wird es genügen, blofs diejenigen namhaft zu machen, welche schon von alten Zeiten her eine gewisse Celebrität erhalten haben. Aufser den schon erwähnten erzählt Gassendi[1] von einem Echo beim Grabmale der Metella, Gemahlin des Crassus, welches den ersten Vers der Aeneide achtmal wiederholte. Zu Rosneath bei Glasgow wiederholt ein Echo die Töne eines Instrnmentes dreimal deutlich; auch soll bei Cyzicus ein siebenfaches und bei Brüssel ein funfzehnfaches Echo seyn[2]. Aus Caspar Barth[3] ist das schöne Echo am Rhein an den Ufern der Naha zwischen Coblenz und Bingen bekannt, welches ein Wort 17 mal wiederholt. Man hört dabei denjenigen, welcher redet oder ein Instrument bläst, wenig oder gar nicht, das Echo aber sehr deutlich und mit vielfachen Verschiedenheiten, indem die Stimme desselben bald näher, bald ferner herzukommen scheint, zuweilen sehr laut, dann wieder leiser tönt, auch glauben verschiedene Personen das Echo, die eine links, die andere rechts zu hören u. s. w. Diesem ähnlich ist das Echo zu Genetay, welches der Benedictiner Quesnet[4] beschrieben hat. Derjenige, welcher singt, hört dabei nur seine eigene Stimme, die Zuhörer aber an den geeigneten Stellen nur den Wiederhall, und gleichfalls so, dafs das Echo sich bald zu nähern, bald zu entfernen scheint; der eine hört nur ein einfaches, ein anderer ein mehrfaches Echo, dieser zur Rechten, jener zur Linken. Quesnet erklärt dieses sehr gut aus der länglichten Gestalt des Hofes und der ihn einschliefsenden Gebäude. Ein gleichfalls ausgezeichnetes Echo bei Verdun ist durch Teintürier[5] beschrieben. Dieses wird durch zwei vom Hauptgebäude getrennte Thürme gebildet, 26 Toisen von einander abstehend, der eine mit einem niedrigen gewölbten Zimmer, der andere mit einem gewölbten Eingange. Stellt man sich in die Mitte zwischen beide, so hört man ein laut geredetes Wort 12 bis 13 mal in gleichen Zwischenräumen stets schwächer wiederholt. Tritt man auf einige Entfernung aus der Verbindungslinie beider Thürme, so hört

1 *In Anmerk.* zu Diogenes Laertius. Lib. X.
2 *Hutton* Dict. I. 449.
3 Statii Thebais. XI. v. 30. Anm.
4 *Mém.* de l'Ac. 1692. II. 87. X. 127.
5 *Ebend.* 1710. p. 18.

das Echo ganz auf, kommt man aber auf eine Linie zwischen dem Hauptgebäude und einem der Thürme, so hört man ein einfaches Echo. Hier müssen also die beiden Thürme sich die Schallstrahlen wechselsweise zuwerfen.

Eins der berühmtesten und schönsten Echo's ist das beim Schlosse Simonetta unweit Mailand, wovon schon Kircher und Schott reden[1]. Es wird durch die beiden vorspringenden Flügel des Schlosses gebildet, und wiederholt einen Pistolenschufs aus einem der Fenster des Hauptgebäudes 56mal, eine Angabe, welche Addison[2], Misson[3] und Mongé[4] bestätigt fanden. Bernoulli[5] aber will sogar eine 60fache Wiederholung gehört haben. Bei Andersbach in Böhmen ist ein merkwürdiges Echo. Einzelne Felsen, in einem Umkreise von fast 3,5 deutschen Meilen zerstreut, bilden das Gerippe eines Berges, und ragen gröfstentheils blofs mit ihren nackten Spitzen empor. Da wo sich diese Felsengruppe schliefst, ist das Echo, welches 7 Sylben dreimal wiederholt, ohne sie im mindesten zu verwirren. Das phonische Centrum ist in einer kleinen Entfernung von der höchsten Felsenspitze; dort stehend hört man auch leise gesprochene Worte sehr deutlich, entfernt man sich aber nur einige Schritte nach der einen oder der andern Seite, so giebt selbst ein Pistolenschufs kein Echo[6]. Dieses bildet also gleichsam den Uebergang zu den Sprachgewölben.

Einige der genannten Echo's, insbesondere die durch Gebäude erzeugten, existiren nicht mehr, oder sind wenigstens durch die allmälige Veränderung der reflectirenden Gegenstände gleichfalls bedeutend verändert. Sie haben indefs einmal eine geschichtliche Celebrität erhalten, und können zur Vergleichung mit andern neu aufgefundenen dienen.

Ein *tonisches Echo* nennt man das Wiederhallen gleicher oder harmonirender (consonirender) Töne durch solche Körper, welche durch die sie treffenden Schallwellen leicht selbst in Schwingungen versetzt werden, z. B. musikalische Saiteninstrumente, Glocken u. dgl. m. Sie hallen hauptsächlich

---

1 Southwell in Phil. Trans. XLIV. N. 480. p. 220.
2 Travels. p. 32.
3 Voyage d'Italie. II. 196.
4 Encyclop. Méthod. III. 25.
5 Zusätze zu Volkmann's Reisen p. 100.
6 Bibliothèque Brit. IX. 292.

diejenigen Töne wieder, welche mit ihrer eigenen Stimmung übereinkommen, oder wenn die letzte allgemein ist, wie beim Forte-Piano, so hört man durch einen reinen und etwas starken Ton meistens den harmonischen Dreiklang desselben erzeugt[1].

In der ausübenden Musik heifst Echo die Nachahmung des gemeinen Echo's durch leise Wiederholung der Töne, welche man in abnehmender Stärke öfters wiederholt und allmählig verschwinden läfst. In der Baukunst nennt man Echo eine solche Einrichtung der Gebäude, vermöge welcher sie den Schall verstärkt wiedergeben[2]. *M.*

Echometer. S. *Metronom.*

Edelstein.

Gemma; pierre precieuse; *precious stone.* Hierunter versteht man jedes seltenere Mineral, welches sich durch Härte, Glanz, Durchsichtigkeit, Farblosigkeit oder angenehme Färbung oder Farbenspiel, oder wenigstens durch einige dieser Eigenschaften auszeichnet, und sich hierdurch zur Anwendung als Schmuck eignet. Man rechnet hierher den Türkis, den Opal, den Quarz (als Bergkrystall, Amethyst, Citrin, Rauchtopas, Morio, Rosenquarz, Prasem, Katzenauge, Aventurin, weifsen Chalcedon, Carneol, Heliotrop, Plasma, Chrysopras, Onyx und Sardonyx), den Zirkon (mit Inbegriff des Hyacinths), Smaragd (mit Inbegriff des Berylls) Topas (mit Inbegriff des Aquamarins) Cyanit, Chrysoberyll, Feldspath (als Adular, Labradorstein und Amazonenstein) Turmalin, Jolith, Lasurstein, Kaneelstein, Granat, Chrysolith, Sapphir (als blauer, grüner, gelber, rother und als Sternsapphir) Spinell und Diamant. *G.*

Einfallsloth.

Cathetus incidentiae; la perpendiculaire à la surface réfringente ou réfléchissante; *the Perpendicular;* ist die Senkrechte, welche auf einer brechenden oder zurückwerfenden Ebene da errichtet wird, wo der auffallende Lichtstrahl diese Ebene trifft. Ist die Fläche, auf welche der Licht-

---

1 Vergl. *Resonanz.*

2 Vergl. *Sprachzimmer.*

strahl auffällt, gekrümmt, so ist das Einfallsloth senkrecht auf die berührende Ebene des Punctes, wo der Strahl auffällt.

B.

Einfallspunct.

Punctum incidentiae; point d'incidence; *point of incidence.* Der Punct, wo der Lichtstrahl die brechende oder zurückwerfende Ebene trifft. *B.*

Einfallssinus.

Sinus anguli incidentiae; Sinus de l'angle d'incidence; *the sine of incidence.* Der Sinus des Einfallswinkels, von dessen Gröfse bei der Brechung der Lichtstrahlen die Gröfse der Brechung abhängt. *B.*

Einfallswinkel.

Angulus incidentiae; angle d'incidence; *angle of incidence;* ist bei Lichtstrahlen, die auf eine Ebene fallen, der Winkel, *den der Strahl mit dem Einfallslothe macht.* Dieser Winkel heifst auch zuweilen der Neigungswinkel.

Bei einigen Schriftstellern bedeutet dagegen das Wort Einfallswinkel denjenigen Winkel, den der Strahl mit der brechenden oder zurückwerfenden Ebene selbst macht. Man findet zwar leicht, in welcher Bedeutung jeder Schriftsteller das Wort nimmt, indefs sollte man im Schreiben es immer in der ersten Bedeutung nehmen, da dies der herrschende Gebrauch ist.

B.

Einklang. S. *Ton.*

Einschattige.

Heteroscii; Heterosciens; *Heteroscii;* (von ἕτερος der andere, der eine von zweien, und σκιὰ der Schatten) heifsen in der Geographie diejenigen Bewohner der Erde, welche um Mittag allezeit in Rücksicht auf sie selbst den Schatten nach der nämlichen Seite, in Rücksicht auf die Bewohner der andern Halbkugel aber nach entgegengesetzten Richtungen werfen. Jenes erstere liegt bei der deutschen, das Letztere bei der lateinischen Bedeutung des Wortes zu Grunde. Einschattige sind demnach die Bewohner der gemäfsigten Zonen, insofern ihr

Schatten nur nach einer Seite fällt, nämlich der auf der nördlichen Halbkugel nach Norden, der auf der südlichen nach Süden; Heteroscii aber heißen sie, insofern jeder von beiden von den zwei entgegengesetzten Schatten einen andern erzeugen. Die Namen sind übrigens ohne allen weiteren Werth. *M.*

Eintritt.

Immersio; Immersion; *Immersion*; s. *Austritt*, wo alles hierher Gehörige mit erwähnt ist. *B.*

Eis.

Glacies; Glace; *Ice.* Wasser, das aus dem flüssigen Zustande in den festen übergegangen ist; *gefrornes Wasser.* Ein meistens ganz durchsichtiger, farbloser Körper, von ziemlicher Festigkeit, und sehr glatter Oberfläche.

Die wesentliche Bedingung dieser Veränderung des Aggregatzustandes der Wasserpartikeln ist *Entziehung der Wärme bis zu einer bestimmten unveränderlichen Temperatur*, welche wir auf unsern Thermometerscalen den *Eispunct* nennen, und der einen der fixen Puncte ihrer Eintheilung bildet. *Ueber* dieser Temperatur gefriert das Wasser niemals, und wir kennen keine mit demselben mischbare oder auflösliche Substanz, welche seinen Gefrierpunct erhöhen könnte. Dagegen giebt es Fälle, wo das Wasser, zumal in verschlossenen Gefäßen, bis nahe an 12 Gr. des 80theiligen Thermometers *unter* den Gefrierpunct, erkältet werden kann, ohne in festen Zustand überzugehen: Mechanische Erschütterung, Zutritt der kalten Luft, Berührung mit einem kalten Körper, namentlich mit einem Stücke Eis, bewirken dann ein plötzliches Gefrieren.

So schnell und bestimmt dieser Uebergang vom flüssigen Zustande in den festen ist, so scheint er dennoch Folge einer durch den Abgang der Wärme vorbereiteten Aenderung in der inneren Anordnung der Molecülen des flüssigen Körpers zu seyn. Wenn[1] nämlich *reines* Wasser von mittlerer Temperatur allmählig erkaltet, so zieht es sich immer enger zusammen, und wird specifisch schwerer, bis zu einer Temperatur von 3°,5 R. Hier ist das Maximum seiner Dichtigkeit. Dann dehnt es sich wieder aus bis zum Gefrierpuncte oder 0° R. nach Rumford um

---

1 S. Parrot Physik II. p. 58.

$\frac{1}{3226}$ oder 0,00031, nach DALTON[1] um etwa $\frac{1}{160}$ der Ausdehnung zwischen 3°, 5 R. und dem Siedepuncte, also um $\frac{0,0457}{160}$ oder 0,00028 seines Volums[2]. Hat das Wasser die Temperatur 0° R. erreicht, so bilden sich allmälig vom Stande des Gefäfses aus *feine Nadeln* oder *längliche Krystalle*, selten in senkrechter, meistens in schiefen Richtungen gegen den Rand[3]; ihre Winkelräume füllen sich mit zärtern Nadeln aus, die ebenfalls unter schrägen Winkeln von den Hauptkrystallen abgehen, und oft ganze gedrängte Büschel bilden. Zuweilen bilden sich daselbst einzelne fünf- oder sechseckige Sterne, deren Strahlen jedoch meistens von ungleicher Länge, einige gar nicht ausgebildet sind. Zusehends nehmen die ersten Krystalle an Stärke zu, die Zwischenräume füllen sich mit mannichfachen Gruppen zarter sich durchkreuzender Zweige und Büschel, bis zuletzt aller Raum ausgefüllt ist, und das Gewebe eine *zusammenhängende Haut* über die Oberfläche des Wassers bildet, wobei denn freilich, so wie diese an Dicke und Vollständigkeit zunimmt, jene zierlichen Krystallisationsgebilde sich verwirren und endlich ganz zusammenwachsen und verschwinden[4].

Nunmehr setzt sich die Krystallbildung *auch unterwärts* fort, so dafs die Eisrinde immer durchgehends die *nämliche Dicke* behält, und nur am Rande oder bei Berührung von festen Körpern etwas dicker wird. Die mannichfache Durchkreuzung jener Strahlen und Figuren bilden dann körperliche Zwischenräume, deren Winkel sich mit Eistheilen ausfüllen, so dafs sich dadurch runde und ovale *Blasen* im Eise bilden, welche dasselbe undurchsichtig machen, und deren Gröfse und Menge mit der Kälte oder der Beschleunigung des Gefrierungs-Processes zu wachsen scheint.

---

1 Mem. of the Soc. of Manchester. V. p. 294. Uebers. in G. Ann. XIV. p. 294.

2 Die Formeln und Tafeln T. I. pag. 615 dieses Wörterbuchs geben nur 0,00012.

3 Diese ersten Aeste sind meistens geradlinigt, doch bilden sich auch zuweilen ganz schmale geschweifte Zweige, an der Seite mit feinen Federchen versehen, ähnlich den Figuren an gefrornen Fensterscheiben.

4 Beim Gefrieren grofser Wasserflächen. Z. B. auf Seen soll diese Bildung einer Haut zuweilen plötzlich mit sichtbarer Schnelligkeit vor sich gehen, wie wenn das Wasser mit einem Tuch überzogen würde.

Während dem Gefrieren, selbst wenn keine Blasen wahrzunehmen sind, *dehnt sich das Wasser immer mehr aus*, so daſs es nach Dalton[1] bei — 10° R. und + 19° R. nahe die nämliche Dichtigkeit hat. Eine mit feinen Eisnadeln erfüllte, bis auf — 11° R. erkältete eingeschlossene Wassermasse, zeigte im Augenblicke des Gefrierens eine Ausdehnung, welche derjenigen gleich kam, die einer Temperatur von + 42°, 6 R. zugehört[2]. Doch ist es wahrscheinlich, daſs, zumal bei schneller Eisbildung, die Ausdehnung unterhalb des Maximums der Dichtigkeit in stärkerm Verhältnisse zunehme, als oberhalb desselben, da das *specifische Gewicht des Eises* zwischen 0,95 und 0,89 variirt.

Im Augenblicke des Gefrierens ist die *Temperatur des Eises immer gleich Null* der 80theiligen oder 100theiligen Scale, und, wenn es vorher im flüssigen Zustande eine bedeutend niedrigere Temperatur hat, so erhebt sich dieselbe im Momente des Erstarrens bis auf den Nullpunct. Auch die *Ausdünstung* wird dann stärker, als in den nähern Temperaturen über dem Nullpuncte.

Diese Erhebung der Temperatur ist eine Folge *der beträchtlichen Wärme, welche aus dem Eise im Augenblicke des Festwerdens sich entbindet,* und die nach Versuchen auf 60° R. oder zwei Dritttheile der Thermometerscale zu setzen ist.

Dieses sind die vornehmsten Erscheinungen, welche bei der Bildung des Eises sich darbieten. Es lohnt sich der Mühe, dieselben nach dieser cursorischen Uebersicht näher zu betrachten.

a. Erkältung des Wassers bis zum Eispuncte und unter denselben.

Rumford hat durch zahlreiche Versuche dargethan, daſs die Verschiedenheit der Temperatur in den Theilen einer Wassermasse verticale Strömungen hervorbringe, indem das schwerere Wasser herabsinkt, das leichtere hinaufsteigt. Da die Erkältung gemeiniglich an der Oberfläche der Flüssigkeit und den Wänden des Gefäſses zuerst sich äuſsert, so werden die äuſsern Wassertheile schwerer, und sinken an den Wänden herab, während dem das minder erkältete Wasser durch die Mitte

---

1 G. Ann. XIV. 296.

2 Nach der Tafel T. I. p. 616. dieses Wörterbuches = 0,01334.

hinaufsteigt, um an der Oberfläche einen Theil freier Wärme an die kältere Luft abzugeben und dann am Rande wieder niederzufliefsen. Diese Wanderung dauert so lange fort, bis alle Wassertheile das Maximum der Dichtigkeit errreicht haben, oder die ganze Masse bis + 3°,5 R. erkältet ist. Erst jetzt kann die Oberfläche noch unter die 3°,5 R. erkältet werden, und es tritt die Möglichkeit des Gefrierens ein; dieser einfache Hergang erklärt zugleich auch, warum seichtes Wasser viel früher als tiefes gefriert, und in Flüssen und Seen das Eis zuerst am Ufer sich bildet. So wird der Umstand, dafs das schwerste Wasser immer noch eine Temperatur von 3¼° R. über dem Eispuncte behält, ein Mittel zur Erhaltung der stehenden Gewässer, welche sonst von Grund aus frieren, und eine Eismasse bilden würden, die mehrere Sommer nicht mehr zu schmelzen vermöchten.

Auch bei kleinern Wassermassen, welche in Gefäfsen dem allseitigen Zutritt der Kälte ausgesetzt werden, findet aus den angeführten Gründen die erste Eisbildung ebenfalls an der Oberfläche und an den Wänden des Gefäfses statt, und der wärmere Strom in der Mitte macht sich durch späteres Gefrieren, und die von der Ausdehnung des Eises herrührende Aufthürmung kennbar. Die Schwierigkeiten, welche die Bildung einzelner Eistheilchen jenen Strömungen entgegen setzt, macht dafs die bereits frei gewordene Wärme sich nicht nach der Aufsenfläche begeben und aus der Masse entfernen kann, und so bleibt in *ruhigstehenden verschlossenen* Gefäfsen ein merklicher Theil des Wassers noch ungefroren, indem es jene 60 Grade *latenter* Wärme noch festhält, selbst wenn seine Temperatur bedeutend unter den Nullpunct herabgesunken ist. Fahrenheit ist der Erste, der (am 2. März 1721) diese Erscheinung wahrnahm[1]. Er hatte in einer Glaskugel von 1 Zoll Durchmesser eine Portion Regenwasser durch Zuschmelzen während des Kochens luftleer eingeschlossen, und fand bei einer Kälte von — 7°,5. R. dasselbe dennoch flüssig. Als er die Spitze der angeschmolzenen Röhre abbrach, so erfüllte sich die Kugel augenblicklich mit sehr kleinen Eissplittern. Er schrieb anfangs das Nichtgefrieren dem Mangel an Luft zu; allein als er später beim Wegtragen einer solchen erkälteten Kugel stolperte, überzeugte er sich, dafs nur die Ruhe das Gefrieren verzögert habe, und jede Erschüt-

1 Philos. Transact. 1724. Nr. 382. Vol. XXXVIII. p. 78.

terung dasselbe sogleich hervorrufe. Ein Thermometer in diese Eisbildung gehalten, stieg sogleich auf Null.

Martin Triewald, Maschinen-Director des Königs von Schweden[1] fand im December 1729 dafs das Wasser in einem cylindrischen Gefäfse mit Cartesianischen Männchen in starker Kälte ungefroren blieb, aber sogleich erstarrte, als er mit der Hand auf die Blase drückte. Musschenbroeck[2] setzte Wasser in wohl verstopften Flaschen die Nacht über starkem Froste aus, und sah dasselbe beim Ausziehen des Stöpsels in einer Minute mit unzähligen Eissplittern sich füllen. Mairan[3] sah dieselben bei Erschütterung des Gefäfses durch eine zitternde Bewegung der Hand, und Anklopfen mit einem Schlüssel sich bilden, am schnellsten aber durch Berührung des Wassers mit der Spitze eines Eiszapfens; und er weifs die Schnelligkeit, mit welcher die Bildung der Eissplitter und die daraus entstehende Undurchsichtigkeit des Wassers von der Oberfläche bis zum Boden des Gefäfses sich fortpflanzte, mit nichts besser zu vergleichen, als mit der Entzündung des Schiefspulvers. Späterhin bemerkte Brugmanns[4] Professor in Gröningen, dafs ein Wasserhammer selbst in einer Kälte von — 10°,7 R.[5] ungefroren blieb, und erst dann in Eis überging, als er denselben sachte umwendete. Ebendasselbe fanden im Jahr 1769 die Herren Coopmanns und Bacot in Gröningen bei wiederholten Versuchen[6]. Bei allen diesen Versuchen wurde die eigentliche Temperatur des ungefrornen Wassers nur durch äufsere Thermometer ausgemittelt; einzig Micheli du Creot[7] hatte die Sorgfalt, ein Thermometer in die Flüssigkeit selbst zu hängen; es sank bis auf — 4°,0 R. und erhob sich bei der Eisbildung sogleich auf 0°. R. Eben dieses bestätigte auch Delüc[8], der in einem Kolben, worin ein Thermometer stand, Wasser von Luft gereinigt, einer Kälte von — 5° R. mehrere Tage lang aussetzte. Durch Berührung mit einem Stückchen Eise fror ein Theil davon plötzlich; der Rest erhielt die Temperatur des Ge-

1 In s. Briefe an Hans Sloane Philos. Trans. XXXVII. Nr. 418. p. 80.
2 Additamentum ad tentem. Acad. del Cimento. p. 186.
3 Dissert. sur la glace Part. II. Chap. III. et IV. p. 203.
4 Van Swinden Observ. sur le froid rigoureux du mois de Janv. 1776. p. 274.
5 Nicht — 11°,7 R. wie es in der ältern Ausgabe des Gehler'schen Wörterbuchs steht.
6 Van Swinden ibid. p. 275.
7 Mairan vom Eise (deutsche Uebersetzung) p. 165.
8 Idées sur la Météorologie I. §. 207.

frierpunctes und fror allmählig ganz zu, worauf das Thermometer der äufsern Temperatur folgte. Delüc[1] erklärt hieraus, wie im Luftkreise Bläschen von flüssigem Wasser existiren können, wenn gleich die Temperatur beim Gefrieren ist, weil zur Bildung des Eises aufser dem Erkalten noch irgend ein anderer bestimmender Umstand nöthig sey. Wirklich mufs man nach einem solchen sich umsehen, wenn man das Bestehen eines dichten Nebels bei einer Kälte von — 10°, — 11° und — 14° R. wie er unter andern am 13. und 30. Januar d. J. 1826 statt fand, sich erklären will.

In England hatte Blagden[2] Fahrenheit's Versuche mit mannigfachen Abwechslungen wiederholt. Destillirtes Wasser liefs sich bis auf 4° R. nach dem Kochen bis auf — 5° R. erkälten; hartes Brunnenwasser nur bis — 3° und 3½° R.; trübes Flufswasser gefror beim Nullpuncte. Trübung schien ein beständiges Hindernifs dieser Erkältungsfähigkeit zu seyn, welche hingegen durch Säuren und Salzauflösungen verstärkt wurde. Blagden fand, dafs zwar die Ruhe der Erkältung günstig, dafs aber, wie bereits Wilke[3] bemerkt hatte, eine Bewegung, welche die innern Theile gemeinschaftlich ergreift, das Gefrieren nicht herbeiführe. Wasser bis — 5° R. erkältet, ertrug Rütteln des Bechers, Umrühren mit einem Federkiele, Anblasen der Oberfläche, ohne zu gefrieren. Dagegen brachte eine anscheinend schwächere, aber die innern Theile *ungleich* erschütternde Bewegung, z. B. Aufstofsen des Bechers mit dem Boden, Anstofsen des Arms, der den Becher trug, Reiben mit dem Federkiel oder mit Wachs an der Seite des Bechers das Gefrieren sogleich zu wege. Am schnellsten erfolgte dieses, wenn man das Wasser mit einem Stückchen Eis berührte; es breiteten sich von der berührten Stelle sogleich die schönsten Eiskrystalle aus, und das Thermometer erhob sich alsobald von von — 5° R. auf 0°. In neuern Zeiten hat Gay-Lüssac die Erkältung des mit Oel bedeckten Wassers auf — 12° C. = 9°,6 R. gebracht und Dalton[4] hat wahrgenommen, dafs das Wasser

1 Idées sur la Météorologie II. §. 610.

2 Philos. Trans. Vol. LXXVIII. P. I. p. 125 et 277 übers. in Grens. Journ. d. Phys. I. p. 87 u. 393.

3 Schwed. Abhandl. B. XXX.

4 Memoirs of the Society of Manchester. V. p. 374. übers. in G. Ann. XIV. 295.

selbst bei einer Temperatur von — 11° 4 R. noch ungefroren blieb; und da seine Versuche an einem Wasserthermometer angestellt wurden, dessen Scale durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer bestimmt worden war, so blieb über die wirkliche Temperatur des Wassers kein Zweifel mehr übrig. Daſs zum Gelingen des Versuchs erforderlich sey, möglichst reines, und von Luft befreietes Wasser anzuwenden, ist daraus ersichtlich, weil einerseits im getrübten Wasser die kleinen festen Körper der Wärmeentladung und dem Ansetzen der Krystalle Gelegenheit geben, andrerseits die durch den innern Wärmeumtausch veranlaſste abwechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung der Luftbläschen die Bewegung im Innern und somit das Entweichen der latenten Wärme aus dem Wasser begünstigen würden. Dieses Letztere wird ebenfalls auch durch das Einsperren der Wärme vermittelst eines über dem Wasser befindlichen schlechten Wärmeleiters, wie Luft oder Oel, oder durch Verhinderung des Wärme-Umtausches an die äuſsere Luft vermittelst Zuschmelzen, endlich, wie bei Dalton's offener Glasröhre, durch die Kleinheit der von der Luft berührten Wasserfläche verhindert.

Daſs *gekochtes Wasser eher gefriere, als ungekochtes*, ist durch zahlreiche Versuche von Mariotte, Perrault, Mairan und Blagden hinreichend widerlegt worden: es findet zwischen beiden hierin kein Unterschied statt.

b. Krystallisation des gefrierenden Wassers.

Parrot [1] nimmt an, die Bildung der kleinsten noch unsichtbaren Eistheile beginne bereits beim Punct der gröſsten Dichtigkeit des Wassers; eine Vermuthung, welche durch die Erfahrung nicht begründet werden kann, und der die Beständigkeit und scharfe Bezeichnung des sichtbaren Gefrierpunctes, so wie das erst bei dieser letztern Temperatur erfolgende Freiwerden der latenten Wärme entgegenzustehen scheinen. Sollten bereits bei jener höhern Temperatur sich Eistheile bilden, so müſste dieses zuerst am Boden des Gefäſses, der Stelle der schwersten Theile, statt finden, da hingegen die ersten und kleinsten Spuren der Eisbildung an der Oberfläche wahrgenommen werden, auch beim Aufthauen alle Spu-

---

1 Physik. II. p. 65.

ren des Eises verschwinden, sobald die Temperatur des Wassers nur um ein Zehntel Grad über 0° R. sich erhebt. Wie dem auch sey, so belehrt uns die Thatsache, daſs erst, wenn die Oberfläche des Wassers auf 0° abgekühlt ist, vom Rande des Gefäſses aus (bei starker Kälte mit sichtbarer Schnelle) sehr feine Eis-Nadeln herauswachsen, welche meistens schiefe Winkel mit der Kante des Gefäſses bilden. Daſs diese ersten Eistheilchen vom *Rande* ausgehen, ist nicht nur der daselbst durch die Berührung eines festen Körpers bewirkten stärkern Wärmeentziehung, und der bei allen Krystallisationen sich ergebenden Anhängung an einen festen Körper, sondern nach Mairan[1] auch der Capillaritäts-Anziehung des Gefäſses zuzuschreiben, welche jeden schwimmenden Körper dem Rande desselben zuführt. Einige dieser Nadeln vergröſsern sich bald in besonderm Maſse, beim Gefrieren einer nicht sehr dünnen Wasserschicht meistens in gerader Richtung, zuweilen auch in schönen Schweifungen. Die Zwischenräume dieser unregelmäſsig sich durchbreuzenden Radien füllen sich allmählig mit feinern Nadeln und Büscheln derselben aus; hie und da bilden sich auch isolirte, sternförmige Gestaltungen mit fünf oder sechs Strahlen, die einer Federfahne vollkommen ähnlich, und zuweilen am Rande mit einem feinen Saum umzogen sind. Wodurch die Menge und Gestalt dieser Strahlen bedingt werden, ist unbekannt. Doch *scheint* eine mäſsige und langsamer wirkende Kälte geradere Nadeln und weniger kühne Schwünge zu liefern, als bei stärkerem Froste und schnellerem Gefrieren der Fall seyn möchte.

Besonders schön und kräftig zeigt sich diese mineralische Vegetation bei dünnen Wasserschichten und starkem Froste, wie z. B. beim *Gefrieren der Fensterscheiben.* Diese ergötzliche Erscheinung ist meines Wissens bisher noch keiner nähern Untersuchung gewürdigt worden, im Norden wohl deswegen, weil sie zu häufig und alltäglich, im Süden, weil sie zu selten ist. Mairan spricht davon als von einer Sache, die beim Thauwetter sich einstelle und leitet die Blumen-ähnlichen Formen und die Bogenschwünge theils von Adern im Glase, welche vom Umrühren der Masse auf der Glashütte entstehen, theils von der Bewegung der Hand beim Reinigen der Fensterscheiben her.

---

1 pag. 87. der deutsch. Uebersetzung.

Er stellte auch nur zwei Beobachtungen, die eine im Januar 1729; die andere im Januar 1743 darüber an. Bei diesem Mangel näherer Angaben erlaube ich mir daher das Wenige, was einige Wahrnehmungen im Januar 1826 mir zeigten, hier mitzutheilen.

Das Frieren der Fensterscheiben setzt gemeiniglich eine äufsere Temperatur von einigen Graden unter dem Gefrierpuncte voraus; nahe so grofs wenigstens mufs die Erkältung der innern Fläche des Fensters seyn. Daher zeigt es sich an den *äufsern* Fenstern geheitzter Zimmer erst bei einer äufsern Kälte von etwa — 4 bis — 5° R., weil die Zimmerwärme von etwa + 10° R. der Erkältung von Aufsen entgegenwirkt. Er findet sich mehr an den Fenstern *bewohnter* Zimmer, als in ungeheizten, weil in jenen mehr wässerichte Ausdünstungen entwickelt werden. Der Gang dieser Erscheinung ist folgender: Sobald die Fensterscheibe kalt genug ist, dafs Wasser daran gefrieren kann, setzen sich die *sogleich* gefrierenden Dünste in einem dünnen, überall gleichen, undurchsichtigen, mattglänzenden Ueberzuge an, der aus sehr kleinen, gedrängt beisammenstehenden, mehr oder weniger unausgebildeten Sternfiguren zu bestehen scheint, und nur hier und da durch zufällige Ursachen unterbrochen ist. Die Ränder dieses nebelartigen Gewebes sind unregelmäfsig und fein ausgezackt, ungefähr so wie man in kleinen landschaftlichen Darstellungen die Kante eines Tannenwaldes zu geben pflegt. Oft ziehen sich auf dem unbedeckten Theile der Scheibe einzelne gezackte Linien dieses Reifes fort, deren gerade oder gekrümmte Richtung wirklich den Zügen zu folgen scheint, die auf dem Glasse durch Abwischen oder auf andere Weise vorgezeichnet wurden. Bei fortdaurender Kälte häufen sich die anfrierenden Dünste und bedecken die ganze Scheibe mit einer gleichförmigen undurchsichtigen Haut. Auf dieser bilden sich sodann bei zunehmender Dicke einzelne rhomboedrische Krystallisationen, die verworren durch einander gehen, und nur durch die Verschiedenheit des durchgehenden nnd reflectirten Lichtes bemerkbar werden. Findet sodann durch Sonnenschein oder Zimmerwärme eine kleine unvollkommene Anschmelzung dieser porösen Eishaut statt, so entstehen bei dem schnellen Eintreten des Nachtfrostes jene schönen Blumengebilde, die auch der Ungebildete nicht ohne Vergnügen und Bewunderung betrachtet. In eleganten und kühnen Schwüngen erheben sich

meist von unten herauf (weil das Gefrieren unten als in der kältern Region anfängt, und die durch die Eisbildung selbst frei werdende Wärme in die Höhe steigt) dichte Büschel und schön gebogene Zweige, und breiten sich mannigfach verschlungen über die ganze Tafel aus; der matte Hintergrund der ersten Reifdecken des Glases giebt diesen Blumen einen schillernden Wechselglanz, auf welchem die feinen Lineamente der gedrängten Curven sichtbar werden. Bald sind es kleine blätterförmige Büsche, Verzierungen und Schnörkel aus gedrängten Fasern bestehend, wie Federn eines Helmbusches, bald kräftige mit mannigfachen Seitenzweigen versehene elegant gewundene Stämme, zuweilen bis auf 12 und 14 Zoll Länge in aufrechter Richtung, bald ein Gewirre mit zarten Haaren besetzter, durch einander verschlungener Stränge; alles in gesetzloser doch schöner Verwirrung.

Um die Natur in ihrer Malerei zu belauschen, behauchte ich bei einer äufsern Kälte von 7° R. eine mit dickem Reif bedeckte Fensterscheibe so lange, bis die Eiskruste wegschmolz, und auf der Glasfläche nur eine dünne Wasserhaut hängen blieb, die so zart war, dafs die Scheibe zumal an den obern Stellen dem Auge ganz trocken schien. Nach etwa 5 Minuten zeigten sich zu beiden Seiten, und bald darauf auch unten kleine gerade und gekrümmte Spitzen, die von dem noch stehen gebliebenen Eisrande aus in verschiedenen Richtungen ausgingen. Einige derselben schoben sich mit besonderer Schnelligkeit vor, und trieben nach beiden Seiten schön geschweifte Büsche, die bald darauf an Gröfse und Ausbreitung noch zunahmen. Es war ungemein ergötzend, das Entstehen und Wachsen jener buschigen Zweige mit dem Auge zu verfolgen; sie hatten ursprünglich ganz das Ansehen der wohlgeformten Fahne einer Schreibfeder; diese vorne scharf zugespitzte Fahne war anfänglich etwa 1 Linie breit, mit den zärtesten Seitenfasern versehen; letztere traten in vollständiger Anzahl ganz im nämlichen Momente aus ihrem Stamm heraus, so wie die Spitze sich vorwärts schob, was mit einer sichtbaren Geschwindigkeit von etwa $\frac{1}{4}$ Lin. in der Secunde statt fand. Das von den heraustretenden Spitzen sichtbar verdrängte Wasser umflofs dann in weicher Rundung die neuen Gewächse, so dafs nirgend etwas Scharfes, Eckigtes sich bilden konnte. Es war unmöglich, das immer rege Spiel einer

so kräftigen Vegetation auf allen Seiten zu verfolgen; manches Bemerkenswerthe mufste übersehen werden.

Die Figuren waren übrigens ganz klar und durchsichtig, weil ihnen der duftige Hintergrund der gewöhnlichen Eisfiguren fehlte. Doch waren sie, wenn ein dunkler Grund nicht allzunahe dahinter lag, durch die verschiedene Brechung des Lichtes vollkommen zu erkennen. Nach einigen Tagen fingen sie an, durch den Ansatz neuer Dünste ihre Schärfe zu verlieren, und die Scheibe wurde undurchsichtiger. Um den Versuch abzuändern, gofs ich eiskaltes Wasser auf eine geschliffene Glastafel, und liefs es bis auf eine dünne Lage ablaufen; es entstanden alsobald auf derselben, und zwar in *horizontaler* Lage der Tafel, die nämlichen schönen Gebilde, in mannigfach wechselnden Formen, unter den nämlichen Anfängen und Fortschritten. Ein grofses gewölbtes Uhrglas auf der convexen Seite mit Wasser begossen, bot die gleichen Erscheinungen dar. Jede neue Begiefsung, so wie jede neue Schmelzung des Eises an der Fensterscheibe lieferte ganz neue und veränderte Figuren; so dafs diese nicht, wie Mairan glaubte, gewissen Spuren und Faden auf dem Glase zugeschrieben werden können.

Ich hatte die Glastafel mit den Figuren in nahe verticaler Stellung zwischen die Doppelfenster meines Zimmers gesetzt, und später nicht mehr betrachtet. Inzwischen war die feine durchsichtige Eiskruste auf derselben, die, weil auf der Rückseite des Glases keine Erkältung statt fand, nicht durch abgesetzte Dünste sich vermehren konnte, allmählig verdünstet, und die Tafel vollkommen trocken. Zu meiner Verwunderung fand ich noch die Lineamente der frühern Eisgebilde in blafsgrauer Farbe, wenn auch nicht scharf und deutlich, doch ziemlich vollständig vorhanden; es war, wie ich auch durchs Mikroskop mit zwanzigmaliger Vergröfserung bestätigt fand, ein feiner Staub, der sich durch die innern Fenster hindurchgezogen, und auf die Faden der Figuren angesetzt hatte. Warum diese Absetzung nur auf den dünnen Zeichnungslinien und nicht auf der ganzen Oberfläche gleichförmig statt gefunden hatte, konnte ich nicht ausfindig machen. War es eine von den kleinen elektrischen Wirkungen, die der Natur so wenig zu kosten scheinen, oder hatte der Anflug des Staubes erst dann statt gefunden, als die aus dünnerem Eise bestehenden Zwischenräume der Lineamente bereits durch Verdunstung aufgetrocknet waren, das

konnte ich wegen Mangel gehöriger Aufmerksamkeit nicht entscheiden. Bei der Bildung der Eisfiguren versuchte ich es einmal, einen Magnetstab unter die ¼ Lin. dicke Glastafel zu legen; allein ohne merkbaren Einfluſs auf die sich bildenden Gestalten.

Wenn, wie die eben erwähnten Erscheinungen uns zeigen, bei schnellem Gefrieren dünner Wasserschichten die krummlinigte Fortpflanzung der Eistheile vorherrschend ist, und höchstens in der Richtung der Seitenfassern jener Federbüsche eine Tendenz zur Gleichförmigkeit, namentlich die Anreihung unter dem Winkel von 60° bemerkbar wird, so tritt dagegen, wie bei allen Krystallisationen, der eigentliche Typus der Eisform desto bestimmter hervor, wenn die Operation mit möglichster Langsamkeit und Ruhe vor sich gehen kann. Wir finden ihn in aller Vollkommenheit ausgedrückt in den sternförmigen Flokken, die zuweilen bei starkem Froste aus der unbewölkten Luft einzeln herunter fallen. Im Schnee selbst sind diese Flocken zu gedrängt, und die Raschheit, mit welcher beim Schneefall die Dunstbläschen einer ganzen Wolke nicht durch gewöhnliche, sondern durch auſserordentliche, meistens von Elektricität begleitete Erkältung zum Gefrieren gebracht werden, ist der Regelmäſsigkeit ihrer Krystallisirung entgegen. Die schönste und vollständigste Sammlung solcher gefrorener Dunstfiguren hat uns Scoresby [1] geliefert. In allen drückt sich unverkennbar die Form des *regelmäſsigen Sechseckes* als Grundform aus; es sind wahre Bilder aus dem Kaleidoskop. Auch beim Gefrieren der Wasserflächen folgt die Richtung der Eisnadeln gegen die Wand des Gefäſses meistens einem Winkel von 60°, oder 120° oft auch von 30°, und die in der Mitte sich bildenden einzelnen Sterne sind in der Regel sechsstrahlig. Hauy [2] glaubte hieraus folgern zu dürfen, „daſs die Moleculen des Eises reguläre Tetraeder seyen, die, wie beim Fluſsspath, durch Zusammensetzung Oktaeder bildeten.

Im Jahr 1805 fand Héricart de Thury [3] im der Eishöhle zu Fondeurle im Dauphiné ungeheure Stalaktisten aus Eis, in

---

1 In s. account on the Arctic regions; und im Auszuge in den Ann. de Chim. XVIII. p. 38. desgleichen in W. Scoresby's Tagebuch einer Reise auf den Wallfischfang u. s. w. übers. von F. Kries. Hamb. 1825. Vergl. den Art. *Schnee*

2 Traité de Physique I, p. 249.

3 Ann. de Chim. XXI. 156. und Journ. des Mines XXXIII.

ihrem Innern hohl, und mit vollkommen krystallisirten Eisnadeln besetzt; es waren sechseckige und dreieckige Prismen bis auf 2 Linien Durchmesser; bei einigen waren die Endkanten an der Basis des Prisma durch Facetten ergänzt; doch fand sich nirgend eine ausgebildete Pyramide. Auch der Boden der Höhle war mit einer Eisdecke überzogen, in welcher man sechseckige Prismen unterscheiden konnte. Seither hat Dr. Clarke [1] (am 3. Januar 1821) bei einer Kälte von ¼ Grad unter Null, unter einer hölzernen Brücke in Cambridge Eiszapfen entdeckt, deren Oberfläche anstatt der gewöhnlichen wellenartigen konischen Formen, bestimmte Vorsprünge mit scharfen Kanten und heraustretenden Wirbeln darbot. Es waren vollkommene rhomboidische Krystalle, mit Winkeln von 120 und 60 Grad; wie man sich durch Messung am Goniometer überzeugte, die bei Krystallen von dieser Gröfse (bis auf 1 Zoll Seite) keine Schwierigkeit darbot. Die Krystalle behielten, als einige Tage darauf, bei einer Temperatur + 3° R. Thauwetter eintrat, auch beim Schmelzen stets ihre rhomboidische Gestalt, ein Beweis, dafs die Anordnung der Theile durch die ganze Masse die nämliche war; mithin ist, nach Dr. Clarke's Meinung, die *Primitivform des Eiskrystalls ein Rhomboid von* 60 *und* 120 *Graden*, und jene sechsseitigen Krystalle von Fondeurle waren nur Secundärformen. Auch nach Clarke's Urtheil kann man nur bei einer *mäfsigen* Kälte, die wenig vom Gefrierpunct sich entfernt, regelmäfsige Krystalle erwarten [2].

c. Blasen im Eise.

Wenn das Wasser mit unzerschmolzenem Schnee, oder mit Unreinigkeiten gemischt ist, so wird das Eis blasig und undurchsichtig, und von weifsgrauer Farbe. Der Grund hiervon liegt hauptsächlich in der Menge von Luft, welche theils im Wasser selbst, theils im Schnee sich aufhielt, und jenen fremdartigen Körpern anhing. Allein auch reines und klares Wasser wird zuweilen mit kleinern oder gröfsern Blasen erfüllt. Dieses ist namentlich der Fall, wenn das Gefrieren sehr schnell vor

1 Ann. de Chim. XXI. 156.

2 Ueber die Gestaltung des bei Thauwetter benetzten Schnees auf den Eisfeldern im Meere, in gefrornen, Prismen, Pyramiden und Polyedern sehe man Scoresbys Bemerkung in s. Journ. of a Voyage to the Northern Whalfishery 1823. 8. deutsch v. Friedr. Kries. 1825. pag. 260.

sich geht. Dann zumal wird die Wassermasse, noch ehe sie durchgängig eine gleiche Erkältung angenommen hat, an ihrer Aufsenfläche mit einer undurchdringlichen Eiswand umschlossen, welche der im Wasser befindlichen Luft den Ausgang versperrt; diese nimmt dann beim Erstarren der umgebenden Wassertheile die daraus freiwerdende Wärme auf, wird dadurch ausgedehnt, und bildet Blasen, die ihr ursprüngliches Volumen weit übertreffen. Eben deswegen ist Eis, das bei starker Kälte sich bildete, in den obern Schichten, wo die Wärme noch entweichen konnte, durchsichtiger als unterhalb.

Die Luft ist jedoch nicht die einzige Ursache der Blasan im Eise; sie entstehen auch zuweilen in Wasser, das durch Kochen oder Auspumpen seiner Luft beraubt worden ist. Lichtenberg[1] liefs Wasser, das er durch Kochen und Auspumpen von Luft möglichst befreit hatte, im Vacuo gefrieren, und fand das Wasser, wie in gefrornen Schaum verwandelt voll grofser Blasen. Eben das wiederfuhr Parrot[2] welcher ausgekochtes Wasser in einer wohlverschlossenen Flasche zu gleicher Zeit mit einer auf gleiche Weise verwahrten Quantität Wasser gefrieren liefs, das mit Kohlensäure stark imprägnirt war. Beide Flaschen enthielten eine undurchsichtige blasige Eismasse. Dagegen hat Muncke[3] in zahlreichen Versuchen aus gewöhnlichem Schneewasser immer ein blasiges, aus gekochtem hingegen immer ein meist blafsenfreies, sehr durchsichtiges Eis erhalten. Das Widersprechende dieser Angaben hat ohne Zweifel seinen Grund in der Verschiedenheit der Temperaturen, in welchen diese Versuche angestellt wurden. Muncke giebt hierüber nichts an; aber Lichtenberg sagt ausdrücklich, dafs er seinen Versuch bei *grofser Kälte* gemacht habe, und Parrot bezeichnet — 18° R. als die Temperatur bei seinen Versuchen. Wahrscheinlich wird bei der Beseitigung des äufsern Luftdruckes der Einflufs, den ein frühzeitiges Erstarren der Oberfläche auf die Bildung der übrigen Eismasse hatte, noch verstärkt, indem jene 60 Grade frei werdender Wärme im luftleeren Raume, wo das Wasser schon bei + 30° R. siedet, leicht Dämpfe erzeugen können, welche elastisch genug sind, um die sie umgebenden Eistheile auseinander zu halten.

---

1 Erxleben Naturl. §. 426. Zusatz.
2 Physik. II. 66.
3 Ueber d. Schiefspulver. p. 97.

d. Specifisches Gewicht des Eises.

Das Eis schwimmt auf dem Wasser; auch Grundeis erhebt sich an die Oberfläche, sobald es vom Boden sich losgemacht hat. Es ist also *specifisch leichter* als Wasser; allein sein Gewicht ist nach der Menge der darin enthaltenen sichtbaren oder auch unmerklichen Blasen sehr verschieden. Kraft [1] liefs Wasser in Glasröhren gefrieren, und fand die Ausdehnung des Eises wie 905: 1000, also specifisches Gewicht = 0,905; oder 10: 11. Irvine [2] wog möglichst festes und reines Eis in Schneewasser von + 0°, 9 R. Wärme; es senkte sich um $\frac{14}{15}$ ein; was 0,937 specifisches Gewicht giebt; eben dasselbe fand auch Scoresby [3], beide vermuthlich mit schwimmendem Polar-Eis. Nach Williams [4] Versuchen war die Ausdehnung $\frac{1}{17}$; also specifisches Gewicht = 0,945. Thomson verdünnte Alkohol so lange, bis das eingetauchte Eis in dem Gemische in jeder Stelle stehen blieb, ohne zu steigen oder zu sinken; das specifische Gewicht der Flüssigkeit war dasjenige des Eises; es ergab sich = 0,92, das Wasser bei 12°,44 R. = 1 gesetzt [5]. Placidus Heinrich [6] bestimmt dasselbe zu $\frac{77}{85}$ = 0,905. Vermuthlich ist das von Irvine und Scoresby untersuchte Seeeis der wirklichen Dichtigkeit dieses Stoffes am nächsten, und die niedrigern Angaben anderer Naturforscher rühren von der gröfsern oder geringern Porosität der gebrauchten Stücke her: daher man wohl das eigentliche specifische Gewicht des Eises auf 0,95 setzen darf. — Die Eigenthümlichkeit, beim Uebergange in den festen Zustand sich auszudehnen, hat das Wasser noch mit den meisten Salzen, wenigstens mit denen von prismatischer Krystallisationsform [7] und nach Réaumur [8] auch mit dem Gufseisen, dem Wismuth und Antimon gemein.

Bemerkenswerth ist auch die Erfahrung von Pl. Heinrich [9] über die fortgehende *Zusammenziehung des Eises bei zunehmen-*

---

1 Comm. Petrop. XIV. 222.
2 Phips Voy. to the Northpole. p. 144.
3 Mem. of the Wern. Soc. of Edinb. II. 1.
4 Gothaisches Mag. VIII. 176.
5 Chimie II. 161. Franz. Uebers.
6 G. Ann. XXVI. p. 229.
7 Vauquelin. Ann. d. Chim. XIV. 286.
8 *Mém.* d l'Acad. 1726 Berthollet Statique Chim. II. 348.
9 G. Ann. XXVI. 228.

der Kälte. Seinen Versuchen zufolge zieht sich ein Eiscylinder um 0,0003064 seiner Länge zusammen, wenn die Temperatur des ihn umgebenden Mittels um 10° R. abnimmt [1]. Hieraus liefse sich denn auch MAIRAN's Beobachtung, zufolge welcher ein Stück Eis, nachdem es 8 Tage lang dem Frost ausgesetzt gewesen, sein specifisches Gewicht um 0,013 vermindert hatte, aus der bloſsen Abnahme der Kälte erklären, ohne daſs man zu einer fortgehenden Ausdehnung desselben durch die Fortdauer der Kälte seine Zuflucht nehmen müſste. Vielleicht hatte sich auch durch Ansetzen von Feuchtigkeit neues poroseres Eis auf der Masse gebildet, und so das specifische Gewicht des Ganzen verändert.

e. Ausdehnung des Eises bei seinem Entsehen.

Die Kraft, mit welcher das Wasser beim Gefrieren seine Raumvergröſserung bewirkt, ist so bedeutend, daſs sie den stärksten Expansivkräften, die wir kennen, z. B. der Gewalt der Wasserdämpfe und der des Schieſspulvers zur Seite gesetzt werden kann. Schon HUYGENS überzeugte sich davon, als er im Jahre 1667 Wasser in einem eisernen Rohre verschlossen, gefrieren lieſs, und dieses nach 12 Stunden an zwei Stellen geborsten fand; ein Versuch, der drei Jahre später von BUOT [2] mit gleichem Erfolg wiederholt wurde. Noch vollständigere Versuche wurden von der *florentinischen Akademie* angestellt [3]. Sie lieſs mehrere starke Gefäſse und Kugeln aus Glas und verschiedenen Metallen mit Wasser gefüllt der Kälte aussetzen, die alle zersprangen; unter diesen befanden sich eine messingene Kugel von 2,9 Z. äuſserm u. 1,3 Z. innerm Durchmesser. MUSSCHENBROECK berechnet die dazu nöthige Kraft auf 27720 Pfunde; und dieses gäbe nach PARROT [4] 21800 Pf. auf einen sphärischen Kubikzoll Eis.

Im Jahre 1785 zersprengte WILLIAMS in Quebek [5] eine Bombe von 12¼ Z. Durchmesser und 1½ bis 2 Zoll Metallstärke.

---

1 Vom Eise p. 211. deutsche Uebers. ohne thermometrische Angaben.

2 Hist. de l'acad. 1670.

3 Tentam. experimentorum in Acad. del Cimento captorum: Edidit P. van Musschenbroek. Lugd. Bat. 1731 4.

4 Physik. II. 59.

5 Trans. of the Roy. Soc. of Edinb. II. und im Gothaischen Mag. VIII. 176.

Eine ganze Scheibe von Eis war durch den Rifs hervorgedrungen. Bei — 17° R. wurde ein 2¼ Pf. schwerer eingetriebener Stöpsel 62 Fuſs weit geschleudert, und es drang augenblicklich ein 4 Zoll langer Eiscylinder heraus; und bei — 23° R. Kälte und unter einer Richtung von 45° flog der Stöpsel sogar 415 Fuſs weit. WAHL zu Michelstädt im Odenwalde[1] bediente sich des Eises, um alte Bomben zu zersprengen. Unter andern wurde bei — 17° R. eine mit Wasser gefüllte Bombe von Guſseisen von 18½ Par. Z. Durchmesser und 2½ Zoll Metalldicke so vollständig zersprengt, daſs Stücke von 150 Pf. 10 Schritte weit geschleudert wurden. MUNCKE[2] berechnet die dazu erforderliche Kraft auf 2648000 Pfunde. Aehnliche Beispiele von ungeheurer Kraftäuſserung liefert das Zersprengen der Felsen und starker Bäume durch die Ausdehnung der in ihrem Innern gefrierenden Flüssigkeit, da sie bei noch gröſserer Kälte in unbestimmbarem Maſse wachsen muſs.

Mehrere der ältern Naturforscher, und mit diesen auch neuerlich der scharfsinnige PARROT[3] leiten diese Wirkung von der Expansivkraft der im Wasser befindlichen Luft her; und der Letztere schreibt derselben die nämliche Dichtigkeit wie dem Wasser selbst zu, da dieses auch nach dem Auspumpen der Luft das gleiche specifische Gewicht behält. „Die beim Gefrieren frei werdende Wärme muſs daher (nach PARROT) jener Luft eine Expansivkraft mittheilen, welche dem 800 fachen Druck der Atmosphäre gleich ist, was auf die Oberfläche eines sphärischen Zolls eine Kraft von 35168 Pf. ausmachte.“ Allein dieser Voraussetzung steht einerseits die bestimmte Erfahrung entgegen, daſs Gefäſse mit ausgekochtem Wasser, vom dichtem blasenfreien Eise eben so gut und (nach MUNCKE[4]) *weit eher* zersprengt werden, als solche, in welchen das Wasser nicht ausgekocht wurde, und die Annahme als sey durch „das Auskochen nicht alle Luft ausgetrieben worden, und die zurückgebliebene entwickele sich beim abermaligen Kochen im Moment des Frierens mit eben der Expansivkraft, wie im ungekochten Zustande,“ möchte wohl schwerlich nachzuweisen seyn. Andererseits ist es gar nicht nöthig anzunehmen, daſs die dem

1 *Trans.* of the Roy. Soc. of Ed. II. u. im Goth. Mag. VIII. 74.
2 Ueber das Schieſspulver S. 96.
3 *Physik* II. 67.
4 *Ueber* das Schieſspulver. S. 97.

Wasser inhärirende Luft das specifische Gewicht desselben vermindern könne; dieses wäre nur dann der Fall, wenn die Wassermasse einen *geschlossenen* Körper bildete, in welchem die Luft eingesperrt wäre. Da diese aber, wie auch die Leichtigkeit ihres Entweichens zeigt, durch die Poren des Fluidums mit der *Atmosphäre in freier Verbindung* steht, so kann sie auf das Aräometer nicht einwirken. Dieses wird auch durch das von HENRY gefundene Gesetz[1], daſs auch „bei verändertem äuſserm Drucke die Volumina der absorbirten Gasarten sich immer gleich bleiben, mithin das Gas im Wasser die nämliche Dichtigkeit, wie das äuſsere habe, vollkommen bestätigt[2]. Endlich können wir schwerlich dem Wasser eine so groſse Anziehungskraft auf die Luft zuschreiben, die dem Druck von 799 Atmosphären gleich käme. Mithin fällt die Basis dieser Erklärungsart, die 800fache Verdichtung der im Wasser befindlichen Luft, unsers Erachtens weg, und wir sind genöthigt, eine andere Ursache jener auſserordentlicher Ausdehnungskraft zu suchen.

Diese bietet uns jener oben erwähnte Typus der Zusammenfügung der Eistheile, die *Krystallisation* dar, die wir sowohl beim Gefrieren in palpabler Gröſse, als auch (z. B. in den feinen Schneefiguren) bis in die kleinsten Nachbildungen verfolgt finden. So fein wir auch diese Theile annehmen, so werden sich immer eckige Zwischenräume ergeben, die nicht mit Eissubstanz erfüllt sind; und wenn wir auch für einmal nicht vermögend sind, eine auf glaubwürdigen Calcul gegründete Theorie dieser Conglomeration aufzustellen, so liegen doch die beiden Thatsachen, die *Krystallisation*, und die *Raumvergröſserung* einander so nahe, daſs es inconsequent scheint, ihnen eine ursächliche Verbindung abzusprechen. Schon frühere Naturforscher KEPLER, DESCARTES[3] und nach ihnen BARTHOLIN[4]

1 Th. I. dies. Wörterb. Art. *Absorption*; S. 48.

2 Ebenso durch die Wahrnehmung, daſs Fische im Wasser (aus Mangel an Sauerstoffgas) bald sterben, das mit einer Oelschicht bedeckt ist. Versenkt man einen Fisch in gefrornes Wasser, das *unter Oel* aufgethaut ist, so stirbt er *augenblicklich*; ein Beweis, daſs die Blasen im Eise keine *Luftblasen* sind. Auch nach Humboldt und Gay Lussac giebt geschmolzenes Eis nur halb so viel Luft her, als gewöhnliches Wasser. S. CARRADORI im Journ. de Phys. T. LXII. S. 473 und G. Ann. XXVIII. S. 414. Ferner G. Ann. XX. S. 135.

3 De meteoris.

4 De nivis usu medico.

suchten die sehsstrahligen Eisfiguren aus der Anordnung von sechs Kugeln herzuleiten, welche um eine siebente herumliegen, so dafs sie je drei einander berühren. In neuerer Zeit hat DALTON[1] die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren durch eine Veränderung der Aggregation seiner Theile zu erklären gesucht und seine Hypothese durch eine Berechnung unterstützt, deren Ergebnifs von der Erfahrung nicht viel abweicht. Er geht von der Voraussetzung aus, dafs die kleinsten Theile des Wassers Kugelgestalt haben, und dafs diese Kügelchen dergestalt auf einander gelegt seyen, dafs die zweite horizontale Schicht in die Zwischenräume der erstern gelagert sey, mithin jedes Kügelchen auf vier Puncten ruhe, welche um 45° über den Mittelpunct der Kügelchen der ersten Schichte erhaben sind[2]. Fig. 15. u. 16. Nennt man die Zahl der Kügelchen, welche in einem cubischen Gefäfse in einer linearen Reihe sich befinden $= n$, so bezeichnet n^2 die Menge der Kügelchen in einer Horizontalschicht; und da die Linie A C, welche die Centra zweier sich berührender Kugeln in verchiedenen Stratis verbindet, mit der Horizontal-Ebene einen Winkel von 45° macht, so wird die Anzahl der Lagen in der gegebenen Höhe des Cubus

$= \frac{n}{\text{Sin. } 45} = \frac{n}{\frac{1}{2}\sqrt{2}}$ seyn. Hieraus findet sich die Zahl der

Theilchen, in dem rubischen Gefäfse $= \frac{n^3}{\frac{1}{2}\sqrt{2}} = n^3 \sqrt{2}$.

Man denke sich nun, dafs die viereckige Säule, deren Basis ein Quadrat ist, plötzlich zu einem rhomboidalen Körper Fig. 17 u. 18. ausgezogen werde. Jedes Theilchen der oberen Lage ruht dann auf drei andern der untern Lage, und die Richtung der Mittelpuncte AC ist $= 60°$; mithin die Erhöhung $= \frac{n}{\text{Sin. } 60} =$

$\frac{n}{\sqrt{\frac{3}{4}}} = \frac{2n}{\sqrt{3}}$. Die Grundflächen der beiden Säulen verhalten sich nun wie 1 zu $\sqrt{\frac{3}{4}}$; ihre Höhen CD wie $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ zu $\frac{1}{2}\sqrt{3}$; ihr körperlicher Inhalt aber wie die Producte der Grundflächen in die Höhen oder wie $\frac{1}{2}\sqrt{2} : \frac{3}{4}$; d. h. 0,7071 ... zu 0,750 oder wie 0,943 zu 1, ein Werth, der von demjenigen des fe-

1 Chemical philosophy. T. I. p. 155. (d. deutschen Uebers.).

2 Von den Figuren zeigen die 15. und 17. einen Grundrifs, die 16. und 18. dagegen eine Profilverbindung.

sten Eises nach Irvine und Scoresby (0,937) nicht merklich abweicht.

So sinnreich diese Erklärung, und so übereinstimmend mit der Erfahrung sie ist, so beruht sie dennoch auf Voraussetzungen, die nur die Möglichkeit für sich haben und nirgends in der Beobachtung nachgewiesen werden können; und sie dürfte uns noch nicht berechtigen, andere Hypothesen, z. B. diejenige Winkler's [1], noch welcher die Volumsveränderung von einer Zerlegung in kleinere Kügelchen oder polyedrische Körper herrühren sollte, von diesen Speculationen auszuschliefsen [2]. Wie dem auch sey, diese Ausdehnung und die unwiderstehliche Kraft, mit der sie sich bildet, ist Thatsache, und sie scheint eben deswegen beim Wasser die eigentliche Bedingung des Ueberganges in den festen Zustand zu seyn, so wie hingegen bei andern Stoffen z. B. dem Quecksilber, eine bedeutende Zusammenziehung damit unzertrennlich verbunden ist, und Williams mochte wohl Recht haben zu behaupten, dafs Wasser nicht gefrieren könne, so lange seine Ausdehnung durch äufsere Gewalt verhindert werde.

Die Wirkungen dieser Ausdehnung zeigen sich in den Erscheinungen des gewöhnlichen Lebens auf mannigfache Art. Der Frost hebt Schwellen und Steinpflaster in die Höhe, zersprengt oft mit heftigem Knalle Steine und Bäume, Mauern, Wasserleitungen, und dergleichen; er zerstört durch diese Ausdehnung die Gefäfse der Pflanzen; daher ältere Bäume, deren Zellgewebe weniger elastisch ist, mehr vom Frost leiden, als die jüngern. Er wirkt dagegen wohlthätig zur Auflockerung des Bodens, und ist die wesentlichste Ursache der Verwitterung der Felsgebirge, wie das namentlich die zahlreichen und mächtigen Trümmer, mit welchen die Gletscherthäler erfüllt sind, beweisen.

---

1 De causa frigoris et glaciei. 1737. 4.

2 Durch einen Vorgang dieser Art dürfte vielleicht beim Härten des Stahls die Feinheit des Kornes oder die Gröfse der Molecülen bestimmt werden. Denn da bei einem Conglomerat von kugelförmigen oder polyedrischen Körpern die Summe ihrer Zwischenräume desto gröfser wird, je kleiner diese Körper werden, so mufs, da die Aufsenwände des Stahls beim Härten in einem expandirten Zustande erstarren, die Masse sich in kleinere Theile zerstreuen, wenn die Form ihrer Aggregation und die Zahl und Lage der Berührungspuncte sich gleich bleiben soll.

f. Freiwerden von Wärme bei der Eisbildung.

Eben so wie die Ausdehnung scheint auch die Ausscheidung eines bestimmten Quantums von Wärme mit zu den Bedingungen des Ueberganges in den festen Zustand beim Wasser zu gehören. Die oben erwähnten Versuche über die Erkältung des flüssigen Wassers unter den Eispunct geben diese plötzliche Wärmeentwicklung zu erkennen, indem im Momente des Erstarrens das Thermometer schnell auf den Nullpunct stieg. Genauer jedoch wurde sie durch den umgekehrten Procefs bestimmt, in welchem man das Quantum Wärme abmafs, das zur Liquescirung eines bestimmten Quantums festen Wassers erforderlich war. Der Versuch ist folgender[1]: Mischt man gleiche Theile Schnee von 0° R., und Wasser von + 60° R., mit einander, so wird der Schnee geschmolzen, und das Gemisch erhält die Temperatur vom 0° R. Die 60° R. Wärme des Wassers wurden also einzig darauf verwendet, den Schnee aus dem krystallisirten Zustande in denjenigen des liquiden Wassers hinüberzubringen. Ist die Temperatur des Wassers geringer als 60° R., so erfolgt die Schmelzung nicht vollständig; ist sie höher, so wird die Wärme des Gemisches über 0° R. Mischt man umgekehrt 1 Pfund Schnee von — 10° R. mit $\frac{1}{6}$ Pf. Wasser von 0° R. so gefriert die ganze Masse und erhält die Temperatur 0°. Eine sechsfache Masse von Schnee zu — 10° ist aber gleich einer einfachen Masse von — 60°; also erzeugen gleiche Gewichtstheile Schnee von — 60° und Wasser von 0° keine Erkältung, weil das flüssige Wasser beim Festwerden + 60° R. Wärme hergiebt, welche sich mit jenen — 60° R. des Schnees neutralisiren. Die Schwierigkeit, ein solches Gemisch von allem Einflufs der äufsern Temperatur frei zu halten, hat in die Angaben hierüber einige Verschiedenheit gebracht. Wilke setzt diese dem Wasser als Bedingung des flüssigen Zustandes inhärirende Wärme auf 58° R., Black auf 62 $\frac{2}{9}$ und Lavoisier auf 60° R., oder zwei Drittheile des Intervalls vom Eis- bis zum Siedepuncte des Wassers.

Als einen directen Beweis der beim Gefrieren des Wassers frei werdenden Wärme führen wir die Versuche von De la Beche in Genf an, welcher im J. 1820 2 Theile Wasser mit

---

1 Parrot. Phys. II. 62.

1 Theil Oel bedeckt, einer Kälte von — 9° R. aussetzte. Das Oel blieb flüssig, so lange das Wasser nicht gefroren war, und gerann erst 3 Stunden nachher, während dem anderes daneben stehendes Oel schon in den ersten Minuten des Versuches gefroren war. Als man bei einem andern Versuche das Thermometer ins Oel setzte, zeigte es — 0°,6 R., als das Wasser zu gefrieren begann; und erst nachdem alles Wasser *dem Anschein nach* gefroren war, fiel es auf — 4° R. *wobei das Oel dennoch flüssig blieb.* Endlich gefror auch dieses, und nun ging das Thermometer auf — 9° R. herab, welches die Temperatur der ungebenden Luft war. Als man die Flasche mit 2 Theilen Wasser und 1 Theil darüber gegossenem Oele einer Temperatur von + 0°, 6 R. aussetzte, gefror das Oel alsobald, während dem das Wasser flüssig blieb. Es *thaute aber* um $\frac{1}{10}$ seiner Dicke an der die Luft berührenden Fläche *wieder auf*, als man dasselbe nachher einer Kälte von — 8° R. aussetzte, welche das Wasser zum Gefrieren brachte, und wurde erst später, nachdem alles Wasser gefroren war, wieder fest[1].

g. Festigkeit des Eises.

Mairan[2] liefs Wasser in einer 4 Linien weiten Röhre gefrieren; den herausgenommenen Cylinder legte er auf zwei Unterlagen, die 6 Z. weit von einander standen. Dieser trug kurz vor dem Zerbrechen 1 Pf., 1 Unze und 2 Quentchen. Die Resultate waren jedoch je nach der Porosität des Eises und der längern oder kürzern Zeit, da es an der Luft gelegen hatte, verschieden. Im Winter von 1740 wiederholte Mairan diesen Versuch mit einem Cylinder von 1 Z. Durchmesser, der 24

1 Eine auffallende Erfahrung über die Wärme, welche bei der Krystallisation auch anderer Stoffe frei wird, berichtet Dr. Benj. Scholz (in s. Physik. Wien 1816. 8. S. 254). Er hatte eine bis zum Krystallisationspuncte abgedampfte Lauge von salzsauerm Kalk, im Winter vors Fenster zum Krystallisiren hingesetzt. Da nach einiger Zeit dieses nicht vor sich gehen wollte, nahm er die Schale herein, um die Flüssigkeit weiter abzudampfen. Durch diese Erschütterung fing die ganze Lauge augenblicklich zu krystallisiren an, die Schale wurde aber auch schnell so heifs, dafs es kaum möglich war, sie noch bis zum nächsten Tisch hinzutragen. Dabei fing die Lauge sich heftig zu bewegen und zu wallen an, als ob sie im heftigsten Sieden begriffen wäre. Auch Glaubersalzsolution, welche im Vacuo erkaltet ist, und durch den Zutritt der Luft krystallisirt, entbindet hierbei Wärme. Vgl. *Krystallisation.*

2 Vom Eise. S. 215.

Stunden einer Kälte von — 9° R. ausgesetzt gewesen war. Bei dem nämlichen Abstande der Unterstützungspuncte trug es 10¼ Pf. und zerbrach von 11 Pfunden. Ein vergleichender Versuch, den MAIRAN mit einem Prisma aus weifsem Marmor, dessen Querschnitt ein Quadratzoll betrug, und das bei 10 Zoll Abstand der Unterlagen 84 Pf. (zu 8 Unzen) gerade vor dem Zerbrechen trug, giebt, wenn man die Tragkraft des quadratischen Prisma mit $\frac{11}{14}$ auf diejenige des Cylinders von 1 Zoll Durchmesser reducirt[1], und den Eiscylinder auf 10 Z. Länge setzt, die zum Zerbrechen des Marmors und des Eises erforderlichen Gewichte = 61,8 und 6,3 Pf. mithin die Festigkeit des Eises 10mal geringer, als die des Marmors. Die auffallendste Probe von der Festigkeit des dichten Eises lieferte die berühmte Construction, die im Winter 1740 zu St. Petersburg unter der Regierung der Kaiserin ANNA aus behauenen, 2 bis 3 Fufs dicken, Blöcken des Newaeises aufgeführt wurde. Es war eine Art Pallast von 52½ Fufs Länge, 16½ Fufs Breite 20 Fufs Höhe, mit einer Bedachung aus Eis. Vor demselben standen 6 Kanonen, die auf der Drehbank gebohrt und gedreht worden waren, mit Rädern und Laffetten, nebst zwei Mörsern nach den üblichen Proportionen verfertigt, alles von Eis. Die Kanonen waren Sechspfünder, die 3 Pf. Pulver gebrauchen; sie wurden jedoch nur mit ¼ Pf. geladen, und Kugeln aus Werch, ja selbst eiserne daraus geschossen. Eine solche Kugel durchschlug ein 2 Zoll dickes Brett in der Entfernung von 60 Schritten.

Im J. 1795 liefs WEBER[2] in Landshut aus grofsen Eisstücken der Donau Kanonen und Mörser drehen. Sie wurden mit Kugeln von Eis geladen, und das Pulver durch die Zündröhre angezündet. Ungeachtet der erfolgten gewaltigen Explosion litt das Eis nicht im Geringsten. In den Mörser pafste eine Eiskugel, die 36 Loth schwer war; sie wurde senkrecht in die Luft geschossen, flog zu einer aufserordentlichen Höhe, und es vergingen beinahe zwei Minuten, bis sie wieder auf die Erde fiel. Auch beim Thauwetter gelang der Versuch vollkommen; nur mufste man den Mörser mit Löschpapier austrocknen.

Wenn das Eis schon an sich so starke Cohäsion zeigt, so wird seine Festigkeit noch sehr vermehrt, wenn es über einer

1 EYTELWEIN Statik II. S. 318.
2 G. Ann. XI. 353.

ausgedehnten Wasserfläche gelagert ist. Der Widerstand, den das Wasser jeder örtlichen Zusammendrückung entgegensetzt, schützt die Eisrinde gegen eine Einbiegung, welche die Trennung seiner Theile zur Folge haben könnte, und vertheilt die Last auf mehrere Stellen. Frisches, auf klaren Gewässern schnell gebildetes Eis zeigt eine merkliche Elasticität und Zähigkeit. Die Dicke von einem Zoll und weniger reicht hin, um einen Mann zu tragen, indem der Druck auf eine Fläche sich vertheilt, die den Raum, den seine Füſse einnehmen, weit übertrifft; dagegen darf er nicht lange auf der nämlichen Stelle bleiben; auch dürfen nicht mehrere zusammentreten. Eis, das einen stehenden Mann kaum noch tragen würde, bricht, eben jener Vertheilung wegen, weniger ein, wenn er sich auf dasselbe hinlegt. Als man im J. 1683 über die gefrorene Themse mit Wagen fuhr, fand sich das Eis nur 11 engl. Zoll dick. Auch die Anhängung des Eises am Ufer vermehrt seine Tragkraft bedeutend [1].

h. Verdünstung des Eises.

Daſs das Eis durch Verdünstung wirklich einen merklichen Theil seiner Substanz verliere, ergiebt sich schon aus der allmäligen Abstumpfung und Rundung seiner scharfen Ecken und Kanten, selbst in einer Temperatur, bei welcher an keine Schmelzung zu denken ist. Auch bestätigen frühere Versuche diese Verdünstung. Gauteron [2], Arzt in Montpellier, fand im Jahr 1708, daſs 1 Unze Eis über Nacht 24 Gran, also in 24 Stunden etwa $\frac{1}{10}$ ihres Gewichts, ein andermal 100 Gran, oder über $\frac{1}{6}$ desselben verlor. Das letztere stimmt mit Mairan's Beobachtungen überein [3], nach welchen er das Maximum dieses Verlustes in 24 Stunden auf $\frac{1}{5}$ des Gewichts setzt. Wie groſs die Oberflächen waren, wird nicht gesagt. In neuern Zeiten hat Dalton [4] zum Behuf seiner neuen Theorie der Ver-

1 Einen Versuch, eine Eisdecke mittelst Schieſspulver zu sprengen, von J. Menriks angestellt, findet man in dem Edinb. philos. Journ. N. 4. und deutsch in G. Ann. LXVII. 111. Man bediente sich dazu des wirksamen Verfahrens, das Schieſspulver in einem Fläschchen 2 Fuſs tief in das Wasser zu versenken. Durch wenige Unzen desselben wurde eine Eisschichte von $3\frac{1}{2}$ Zoll Dicke in einer Ausdehnung von 45 F. Länge und 38 F. Breite völlig zerbrochen.

2 Mém. de l'Acad. 1709. S. 451.

3 Vom Eise S. 240.

4 Mém. of the philos. soc. of Manchester V. u. G. Ann. XV. 140.

dunstung der Flüssigkeiten diesen Gegenstand untersucht und gefunden, „dafs die Verdünstung des Eises das nämliche Gesetz „befolge, wie diejenige des Wassers, dafs sie nämlich eine „Function der *Trockenheit* der Luft, ihrer *Temperatur* und der „*Oberfläche* des Eises sey.“ Er hatte Wasser in einer flachen zinnernen Schale von 6 Zoll Durchmesser, der nämlichen, mit welcher er die Verdunstung des Wassers gemessen hatte, gefrieren lassen, und dieses (freilich nur in Temperaturen von 0° bei — 2½° R.) der Luft ausgesetzt. Es ergab sich, dafs diese Fläche von 28 Quadratzollen etwa 9,6 Gran in der Stunde; mithin auf 1 Quadratzoll 0,34 Gran in dieser Zeit verlor. Bei der mit grofser Kälte meistens verbundenen grofsen Trockenheit der Luft und den dann zumal herrschenden Nordostwinden dürfte die Verdunstung des Eises wohl zuweilen aufs Doppelte steigen; zugleich ist es einleuchtend, dafs sie durch die beim Gefrieren statt findende Wärmeentwickelung, zumal wenn die Operation schnell vor sich geht, bedeutend gesteigert werden mufs; daher sie in dieser Epoche oft stärker ist, als selbst bei einer höhern äufsern Temperatur. Setzt man Eis von 0° R. Wärme einer Kälte von etwa — 15° R. aus, so entsteht ein *sichtbarer* Dunst um dasselbe[1].

i. Durchsichtigkeit und optisches Brechungs-Vermögen des Eises.

Das Eis giebt, wenn es frei von Blasen, und seine Oberfläche mit Wasser befeuchtet ist, an Durchsichtigkeit dem Wasser selbst wenig nach, und seine Farbe ist derjenigen, welche eine dicke Wasserschicht zeigt, gleich, nämlich *bläulichtgrün*; besonders schön zeigt sich dieselbe in den, zwei bis drei Fufs dicken Eisblöcken, welche man aus Seen und klaren Flüssen, z. B. der Newa, ausbricht, in den Höhlen und Spalten der Gletscher, und in den schwimmenden Eismassen des Meeres. Sein Brechungsvermögen ist etwas geringer, als dasjenige des Wassers; es verhält sich nämlich nach Kraft[2] der Sinus des Einfallswinkels zu demjenigen des Brechungswinkels im Eise wie 1 · 0,713 im Wasser wie 1 zu 0,75. Man kann daher mit linsenförmigen Eisstücken eben so gut die Wärmestrahlen des

1 S. die Versuche von C. Wistar in American Trans. IV. 72. u. bei G. V. 354.

2 Abhandl. der Petersb. Akad. III. 466.

Sonnenlichtes verdichten, wie mit gläsernen Linsen, und MAIRAN hat mit einer solchen Eislinse von 4 Zoll Diameter und $3\frac{1}{2}$ Z. Brennweite Schiefspulver entzündet. Nach BREWSTER[1] ist die dic *polarisirende Kraft des Eises* $= \frac{1}{36007}$; die des Bergkrystalls $= \frac{1}{311}$.

k. Leitungsfähigkeit des Eises für Wärme und Elektricität.

Dafs Eis einigermafsen die Wärme leitet, erhellet daraus, weil es mit der äufsern Temperatur sich mehr oder weniger unter dem Gefrierpunct erkälten kann. Einen directen Versuch über die Wärmeleitung des Eises hat unsers Wissens nur DALTON[2] angestellt, der jedoch nicht zu dem Schlufs berechtigen kann, das Eis für einen noch schlechtern Wärmeleiter als das Wasser zu erklären. Er setzte einen soliden Eiscylinder von 3 Zoll Durchmesser und $5\frac{1}{2}$ Z. Höhe etwa 1 Zoll tief in eine Frostmischung aus Schnee und Salz. Oben im Cylinder befand sich ein enges Loch von 1 Z. Tiefe, in welches ein Thermometer gesteckt wurde. Die Temperatur der umgebenden Luft war $+2°,3$ R.; diejenige der Mischung in den ersten anderthalb Stunden des Versuchs $-10°$ bis $11°$ R. Das Thermometer im Eise stand lange unbeweglich der Temperatur der Luft gleich und sank endlich um $\frac{1}{4}°$ R. Späterhin schmolz der Cylinder unterhalb ab und fiel auf die Seite, so dafs die Thermometerkugel nur noch um 1 Z. weit von der kältenden Flüssigkeit abstand; in dieser Lage zeigte es $-1°,7$ R. während dem die Frostmischung von $-8°$ R. bis $-4°,5$ R. zurückging.

In der ersten Hälfte des Versuches hatte die Thermometerkugel $3\frac{1}{2}$ Z. *über* der Frostmischung gestanden; kein Wunder also, dafs sie der viel nähern Temperatur der Luft folgte, und von der untern Kälte, die niemals in die Höhe zu steigen pflegt, nicht afficirt wurde; doch nahm sie späterhin, als sie in gleicher Höhe mit der Frostmischung, und in gleichem Abstande von dieser und der äufsern Luft sich befand, die mittlere Temperatur an, so dafs also dieser Versuch eher *für* die Wärmeleitung des Eises, als *gegen* dieselbe zu sprechen scheint. Da sie aber nur für die Temperaturen *unter* Null statt finden kann, so wird sie

---

1 J. de Ph. 1817. T. II. S. 398.

2 Mem. of the Soc. of Manchester V. S. 2. u. S. 373. deutsch in G. Ann. XIV. 191.

blofs bei grofser Kälte bemerkbar, und das Eis dient wenigstens durch Abhaltung des Luftzuges als Beschützung gegen die äufsere Kälte. Es hindert, besonders wenn es noch mit einer Schneelage bedeckt ist, die fortgehende Erkältung der Seen und Flüsse. In Sibirien[1] setzt man Tafeln von klarem Eise in die Fensteröffnungen ein, und läfst sie durch Begiefsen dicht angefrieren. Selbst diejenigen, welche Glasfenster besitzen, setzen auf der Aufsenseite eine solche Tafel als Doppelfenster ein, und die Eskimo's finden hinreichenden Schutz gegen die gröfste Kälte in ihren ausgehöhlten Eiskonen, was schwerlich der Fall seyn könnte, wenn das Eis ein guter Leiter der Wärme wäre.

Ungleich entscheidender sind die Versuche, welche über die elektrische Leitungsfähigkeit des Eises angestellt worden sind. *Das Eis ist ein völliger Nichtleiter der Elektricität.* Erman[2] liefs in einer mit Wasser gefüllten Glasröhre zwei Platindrähte so einfrieren, dafs sie nur $\frac{1}{8}$ Zoll von einander abstanden. Dennoch, als er diese Drähte mit den beiden Polen einer thätigen Volta'schen Säule verband, ging keine Spur von Elektricität über; die an beiden Polen angebrachten Elektrometer behielten ihre völlige Divergenz, und die Säule ertheilte Funken und Schläge von gleicher Intensität, wie im unverbundenen Zustande der Pole. Keine Schmelzung des Eises, keine Veränderung an andern oxydirbaren Drähten liefs sich wahrnehmen, selbst wenn man die Schenkel einer aufrechten krummgebogenen Röhre, in deren Biegung unten sich Eis befand, mit Wasser auffüllte, zeigte sich keine Spur von Mittheilung oder chemischer Wirkung. Bouvier[3] versuchte es, eine Säule aus 80 Lagen Zink, Silber und sehr dünnen Eisscheiben zu bauen, sie verrieth auch nach mehrern Stunden nicht die geringste Wirkung. Eben dieses war auch der Fall mit einer Säule von 90 Lagen aus Silber, Eis und Pappscheiben, die in Salzwasser getränkt waren, und mit einer Säule aus Zink, Eis und Pappscheiben. Wenn man die Pole einer kräftigen Säule aus 128 Lagen Zink, Silber und mit Salzwasser benetzter Pappe, die heftige Schläge gab, mit kleinen Eisstücken berührte, verspürte man

1 Gmelins Reise nach Sibirien in den allg. Hist. d. Reisen XIX. 286. oder auch in der Göttinger Sammlung neuer und merkwürdiger Reisen. V. 401.

2 G. Ann. XI. p. 166.

3 Journ. de Phys. p. Van Mons. Nr. 10. S. 52. übersetzt in G. Ann. XIII. 434.

nicht die geringste Erschütterung; eben so wenig irgend einen Geschmack, wenn man, den einen Pol der Säule mit der Hand anfassend, mit einem Stückchen Eis im Munde den andern berührte. Was endlich die Nichtleitung des Eises aufser allen Zweifel setzt, ist die von Erman[1] beigebrachte Nachricht, dafs Achard aus trockenem Eise einen drehbaren Cylinder einer Elektrisirmaschine verfertigt habe, die gute Funken gab.

I. Aufthauen des Eises.

Der Uebergang in den flüssigen Zustand, oder dasjenige, was bei Metallen *Schmelzung* heifst, wird beim Eise *Aufthauen* genannt. Dieses erfolgt in derjenigen Temperatur, welche bei den Thermometern durch den Schmelzpunct des Eises oder den sogenannten Gefrierpunct bezeichnet zu werden pflegt. Das Zergehen des Eises geht meistens langsamer von statten, als das Festwerden desselben. Denn die Wärme vermag aus dem flüssigen Stoffe schneller zu entweichen, als sie in den festen Körper eindringen kann, den sie nur an der Oberfläche bestreicht. Auch ist ihr Bestreben, sich aufwärts zu bewegen, ihrem Entweichen aus dem Wasser auf der Erde in den freien Luftraum günstig, und ihre Einführung in die niedrigen Luftschichten wird oft nur durch die Bewegungen der Atmosphäre, durch Wind und Regen beschleunigt. Daher das Eis in solchen Einsenkungen, die den Sonnenstrahlen und dem Luftzuge unzugänglich sind, z. B. in Eishöhlen und Eisgruben, in Bergschluchten u. dgl. nicht leicht schmilzt. Das Aufthauen ausgedehnter Schneemassen wird auch durch die Herstellung jener 60° R., welche die Fluidität des Wassers bedingen, merklich verzögert, so dafs in Schneebedeckten, wasserreichen Gegenden das Thermometer oft viele Tage lang nur wenig über den Eispunct sich erhebt. Regen und heftige warme Winde sind die wirksamsten Beförderungsmittel der Aufthauung. Der erstere wirkt um so kräftiger, da überhaupt bei gleicher Wärme *dichtere* Körper das Eis schneller schmelzen. Silber und Kupfer sollen es hierin den andern Metallen zuvorthun. Nach Homberg[2] soll in luftleerem Raume das Schmelzen des Eises um dreimal schneller vor sich gehen, als in der Luft. Eben dieses ist nach Leslie auch im Wasserstoffgas der Fall. Das Eis zer-

1 G. Ann. II. 168.

2 Mém. de l'Acad. 1693. T. X. S. 265.

geht nicht gleichförmig, sondern einige Stellen, besonders die Eisfäden, mit welchen das Gefrieren begann, widerstehen der Auflösung länger; daher wird es porös und brüchig. Auf Seen treiben oft lange noch dünne Eisfelder herum, die, kaum über das Wasser hervorragend, nur durch ihre mattere Oberfläche vom Flüssigen zu unterscheiden sind. Diese sollen nach der Aussage von Augenzeugen *plötzlich in ihrer ganzen Ausdehnung zu versinken scheinen;* eine Erscheinung, die leicht statt finden kann, wenn die Eisrinde so dünn geworden ist, daſs ihr zehnter Theil dem Zusammenflieſsen des Wassers auf ihrer Oberfläche keinen erheblichen Widerstand entgegenzusetzen vermag. Nach Martens[1] zergeht das Eis im Salzwasser viel schneller als im süſsen Wasser.

m. Anomale Eisbildung, Grundeis.

Der deutsche Name bezeichnet diese Art von Eis so bestimmt, daſs sie kaum einer Erklärung bedarf. Es ist Eis, welches am *Boden* der Gewässer sich erzeugt. Es findet sich nicht in Teichen oder Seen, sondern nur in *bewegtem* Wasser, und macht den gröſsten Theil des Treibeises aus, welches Flüsse, die nicht aus Seen ablaufen, zu Anfang des Winters mit sich führen, und welches in der Folge durch die Hemmung der Strömung das Gefrieren des Flusses an seiner ganzen Oberfläche veranlaſst. Die Art, wie dieser Gegenstand von den meisten physikalischen Schriftstellern abgefertigt worden ist, gehört zu den Schattenseiten unserer Naturlehre, und zeigt, mit welcher Vorsicht die Anwendung auch wohl gegründeter Doctrinen, wenn sie (nicht etwa mit den vermeintlichen Erfahrungen Neuigkeitslustiger Physiker, sondern) mit den Thatsachen des sogenannten Volksglaubens in Widerstreit geräth, verfolgt werden muſs.

Schon durch sein äuſseres Ansehen unterscheidet sich das Grundeis von demjenigen, das an der Oberfläche des Wassers sich bildet, es ist poröser, grauer, schwammiger als jenes, und sieht mehr einem durchnäſsten Schneeklumpen, als eigentlichem Eise ähnlich. Bei näherer Untersuchung zeigt sich dasselbe aus einer Menge kleiner, dünner, runder und durchsichtiger Eisscheiben, von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser bestehend[2], deren Zwi-

1 *Reise* nach Grönland im Jahre 1671. Recueil des voyages au Nord. T. II. p. 41. Ed. Amsterd. 1732. 8.

2 Merian in d. Ann. der Allgem. Schweizerischen Gesellsch. d. Naturf. Bd. II. S. 59. Bern 1824. 8. u. Bibl. Univ. XXVIII. 125.

schenräume sich in der Folge noch mehr ausfüllen. Es erscheint erst bei anhaltender Kälte, und soll durch Winde, welche der Bichtung des Stromes entgegenwehen, besonders befördert werden; am Grunde setzt es sich an hervorragenden Stellen des Rodens an, von welchen es später, sey es durch die Strömung oder bei erfolgendem Thauwetter, sich losreifst, und durch seine specifische Leichtigkeit gehoben, Sand und Steine, oft schwere am Boden gelegene Körper als Zeugen seiner Abstammung an die Oberfläche mit sich bringt.

Der Erste, welcher die allgemeine Erfahrung der Landleute, Fischer, Müller und Schiffleute zur Sprache brachte, war Plot in seiner Naturgeschichte von Oxfordshire[1]. Seine Angaben wurden etwa drei Decennien später von Hales[2] aufs Umständlichste bestätigt, und nicht nur durch fremde Zeugnisse, sondern durch eigene in den Wintern 1730 und 1731 genommene Ansicht und Untersuchung aufser Zweifel gesetzt, er fand, dafs das Grundeis sich zuerst ansetzte, wo die Geschwindigkeit des Stromes geringer war, und dafs dasselbe auch ohne vorhergegangenen Schneefall sich erzeuge. Es fand sich in der Themse an solchen Stellen, wo Fluth und Ebbe noch wirkt, und auch da, wo diese nicht mehr statt hatte. Die Wasserleute an der Themse fühlten das Grundeis mit ihren Stangen mehrere Tage vorher, ehe die Oberfläche des Flusses überfror, und *sahen* es auch mit solcher Gewalt vom Boden emporsteigen, dafs es auf der schmalen Kante stehend ½ bis 1 Fufs über die Oberfläche hervorschofs, eine Zeitlang in dieser Stellung blieb, und dann auf die flache Seite sich hinlegte. Weder so evidente Thatsachen, noch die Autopsie eines Mannes, der sich so eben durch ein classisches Werk als gründlichen Physiker erwiesen hatte, selbst die von ihm beigefügte natürliche Erklärung, „dafs dieses Gefrieren am „Grunde, da es nie in Seen und Teichen sich zeigt, der *Bewe-„gung* des Wassers, die alle Theile durch einander werfe, und „so eine gleichförmige Erkältung in allen Schichten bewirke, „zuzuschreiben sey," konnten den Abbé Nollet[3] abhalten, die ganze Sache für Täuschung und für ein Vorurtheil des Pöbels

1 Natural hist. of Oxfordshire 2. Ed. fol. 1705. S. 28.

2 Vegetable Statics. Lond. 1731. 8. im Appendix. Die Ausgabe von 1727 enthält hiervon nichts.

3 Mém. de l'Acad. p. 1743. p. 51.

zu erklären, für dessen Widerlegung er sich sogar entschuldigen zu müssen glaubte. Seine Einbildung, nichts gelten zu lassen, was nicht in seine Erklärung paſste, wich selbst nicht der eigenen Untersuchung, die er im J. 1743, als bei einer Kälte von — 10° R. die Seine gefroren war, anstellte. Er lieſs an verschiedenen Stellen, näher und ferner vom Ufer das Eis aufhauen, und fand die Stücke an ihrer untern Fläche nicht eben, wie dies am Eise stehender Gewässer der Fall ist, sondern schwammig und locker, wie von zerstoſsenem Eise. Das Wasser in den Löchern war nicht klar, sondern es enthielt eine Menge kleiner, loser Eisstücke, ähnlich denjenigen, welche an der Unterfläche des Eises sich angesetzt hatten. Ja, was noch auffallender war, so oft man auch die Löcher von diesen Eisfragmenten reinigte, so kamen immer wieder neue hervor und die Arbeiter erklärten, daſs dieses lose Eis, welches sie *bouzin* nannten, sich während der Nacht auf dem Grunde erzeuge, und am Tage durch die Sonne heraufgezogen werde; es sey daher auch meistentheils schmutzig, mit Erde, und selbst zuweilen mit Grashalmen vermengt. Diesem Allem setzte Nollet nur das, einseitig von ihm erkannte, Naturgesetz, und (allerdings mit besserm Rechte) die Bemerkung entgegen, daſs nach seinen Beobachtungen das Wasser unter dem Eise bei verschiedenen Kältegraden und Dicken der obern Eisrinde am Grunde niemals die zum Gefrieren erforderliche Kälte besessen habe. Spätere Versuche haben uns jedoch[1] hierüber eines Andern belehrt[2].

Nollet's Ansehen, und der Anschein von Wissenschaftlichkeit im Gegensatze zum Volksglauben überwog die Zeugnisse der englischen Physiker; ihm pflichtet Mairan[3] unbedingt bei, und selbst der gründliche Gehler[4] in den frühern Ausgaben dieses Wörterbuches fertigte die Sache als ein altes Vorurtheil kurz ab. Ihm waren vermuthlich Desmarest's[5] und Brauns[6] Untersuchungen unbekannt geblieben, deren zahlreiche Thatsachen jeden Zweifel über diese Sache ausschlieſsen. Desmarest erklärte vor der Akademie, daſs er im Winter von

1 Mém. de l'Acad p. 68.
2 Siehe unten die Versuche bei Straſsburg.
3 Vom Eise p. 157.
4 Phys. Wörterb. I. p. 676.
5 Mém. de l'Acad. 1776 und Journ. de ph. 1783. I. p. 30.
6 Journ. de Ph. 1788. II. p. 59.

1780 am Boden des Canals, der Montgolfiers Papierfabrik mit Wasser versieht, das Eis habe sich bilden und aufsteigen gesehen; eben das hatte er auch in der Drome an solchen Stellen wahrgenommen, wo der Strom zu reifsend war, um an der Oberfläche zu gefrieren. Er bemerkte, dafs das Grundeis von *unten* her wachse, und dafs die dadurch bewirkte Erhebung seiner obern Fläche zuweilen in einer Nacht 5 bis 6 Zoll betrug. Brauns sah in der Elbe ebenfalls das Eis vom Grunde aufsteigen; er liefs eines Abends in mehr als 20 Fufs tief zwölf Körbe hinunter, um Aale darin zu fangen, zur Zeit als der Flufs noch frei von Eis war. Als sie Tags darauf in der Mittagsstunde herausgezogen wurden, fand man sie inwendig (wo das Wasser ruhiger gewesen war) ganz mit durchsichtigen Eiskügelchen inkrustirt. Das Innere war mit kleinen Eisscheiben, von höchstens 2 Quadratzollen Fläche und $\frac{1}{8}$ Zoll Dicke erfüllt. Brauns bemerkt, dafs nach der Ordnung dieser Körbe das Eis nicht habe von Aufsen eindringen können. Eine Menge unzweifelhafter Beobachtungen über das Grundeis, von verschiedenen Beobachtern entlehnt, stellt Brauns[1] zusammen, und Desmarest[2] fügt noch aus den Denkschriften der Haarlemer Societät das merkwürdige Factum hinzu, dafs versunkenes Holz, und sogar einmal ein Boot, das im Spätjahr bei Krimpen im Lech versunken war, durch ansitzendes Eis erleichtert, an die Oberfläche des Wassers gehoben worden sey. Brauns bemerkt, dafs die haarigen Stoffe, Hanf, Wolle, Moos u. dgl. am leichtesten mit Eis besetzt werden. Unter den Metallen hänge es sich am ehesten an Kupfer, Messing, Stahl, Zinn an; von den Steinen an den weichen Sandstein, und alle rauhen Steine; weniger dagegen an glatte, oder auch an Backsteine. Ein runder Stein vulcanischer Natur wurde nie besetzt. Eben so wenig die Harze, Siegellack, Pech, Colophonium, Wachs, Wachstuch, Seide, gegerbtes Leder, und abgehobeltes Holz.

Die Zahl der Zeugen, welche das Grundeis im Boden der Flüsse selbst gesehen haben, läfst sich noch täglich vermehren; Besson[3] beobachtete es am Niederrhein; Leslie[4] behauptet es

---

1 Hannöv. Magazin. 1783. Nr. 20—22.

2 J. de Ph. XXXIII. 68.

3 J. de Ph. XXXIV. 387.

4 On heat and moisture. Vorrede.

von mehrern Flüssen in Sibirien, in der Schweiz u. s. w. GARNET erzählt, daſs ein Wehr des Flusses Wharfe in Yorkshire zuweilen am Boden mit einer dicken Eiskruste bedeckt werde, so daſs diese zuletzt einen förmlichen Damm bildet. MERIAN[1] verfolgte das Phänomen im St. Albancanal in Basel; und ich selbst habe das Grundeis im Januar 1826 im Canal der Sihl in Zürich oft gesehen. Es lag fest auf den Kieseln des Fluſsbettes in unförmlichen Klumpen von 2 bis 3 Fuſs Länge, weiſslicht grau, gerade wie MERIAN es beschreibt. Das auffallendeste Beispiel dieser Eisbildung aber berichtet der K. Preus. Lootsen-Commandeur STEENKE in Pillau[2]. Am 9. Februar 1806 kamen bei einem starken Südostwinde und + 1° R. Wärme die 6 Klafter langen eisernen Ketten, woran die Tonnen des Seegatts befestigt sind, und die seit Jahren bei Schappelts-Wrack in einer Tiefe von 15 bis 18 Fuſs verloren gelegen hatten, plötzlich an die Oberfläche des Wassers herauf, und schwammen auf derselben; sie waren aber *mit Eis* in einer starken Mannsdicke ringsum völlig candirt. Eben so stiegen Steine, 3 bis 6 Pfundschwer, von selbst auf die Oberfläche; sie waren mit einer starken Eiskruste umgeben. Auch kam ein Tau von 3½ Zoll Dicke und etwa 30 Klafter Länge, das im verwichenen Sommer in 30 Fuſs Tiefe verloren gegangen war, wieder zum Vorschein, und lag horizontal auf dem Wasser; es war aber auch von Eise ringsumher 2 Fuſs dick befroren. An eben diesem Tage muſste ein Schiff, das aus der See kam, gegen den Ostwind eingewarpt (d. h. an einem vorwärts ausgebrachten Anker in den Hafen gezogen) werden. Der Anker, den man dazu gebrauchte, war, nachdem er eine Stunde im Grunde gelegen hatte, dergestalt mit Eis befroren, daſs es nur der Hälfte der gewöhnlichen Kraft bedurfte, um ihn in die Höhe zu bringen.

Die eigentliche Erklärung, wie die Bildung des Grundeises möglich sey, wird uns, wie schon HALES einsah, durch die Beobachtung selbst zugewiesen, nämlich durch den Umstand, daſs das Grundeis nur in *bewegten*, niemals im ruhigen Wasser sich findet. Im *bewegten Wasser* kann jene Lagerung der Wasserschichten nach dem Verhältniſs ihrer durch die Temperatu

1 a. a. O. S. 61.

2 Gilb. Ann. XXII. p. 332. u. Hamb. Corresp. Nr. 41. u. 48. 1806. Pillau ist der Hafen von Königsberg am Ausfluſs der Pregel.

bedingten Dichtigkeit unmöglich statt finden. Die Strömung bringt unaufhörlich so mannigfache Bewegungen, Wälzungen, Windungen und Strudel hervor, welche den geringen Unterschied des specifischen Gewichts der zwischen 0° und dem Puncte der gröfsten Dichtigkeit nur $\frac{1}{100000}$ ausmacht, leicht überwinden, so dafs die ganze Wassermasse so ziemlich gleiche Schwere und somit auch gleiche Temperatur erhält. Wird nun die Oberfläche des Stromes erkältet, wozu eine entgegengesetzte Luftströmung durch das Aufwühlen der Wasserfläche besonders wirksam ist, so theilt sich diese Abkühlung allmählig der ganzen Masse mit, so dafs diese durchgehends bis auf Null erkältet wird. In diesem Falle bieten dann die Hervorragungen des Bodens, und die ruhigern Stellen des Wassers der Krystallbildung willkommene Stützpuncte dar, während dem eben die Bewegung sie in den übrigen Theilen des Wassers unmöglich macht. Da aber, wie wir oben unter a. gefunden haben, die Erschütterung gerade ein Beförderungsmittel des Gefrierens wird, wenn das Wasser unter Null erkältet ist, so folgt, dafs auch selbst bei grofser Kälte die Oberfläche des Wassers immer noch so viel Wärme festhalten und an sich ziehen müsse, dafs sie nicht merklich unter den Eispunct erkältet werde. Diese Wärme steigt ihr aus den untern Schichten zu. Ist einmal durch die beständige Abkühlung der Oberfläche alle entbehrliche Wärme der Wassermasse in ihrer ganzen Tiefe aufgezehrt, so müssen die geschützten Stellen in den festen Zutand übergehen, damit aus jenen freiwerdenden 60 Graden (s. oben bei f.) das bewegte Wasser mit so viel Wärme versehen werden könne, als nöthig ist, um es bei Null zu erhalten. Es ergiebt sich hieraus 1. dafs vorerst die ganze Masse eines Stromes mit seinem Zuflufs durchgängig bis auf Null erkältet seyn mufs, ehe ein Flöckchen Grundeis sich bilden kann. 2. Dafs die Temperatur des Stromes nirgends *unter* Null gehen kann[1]. 3. Dafs bei fortgehender Erkältung diejenigen Stellen, wo das Wasser ruhiger ist, sey es am Rande der Oberfläche, oder hinter schützenden Erhöhungen auf dem

---

1 Dieses wird auch durch directe thermometrische Untersuchungen, die am 11. Febr. 1816 bei Strafsburg im Rhein bei 12° Kälte angestellt wurden, bestätigt. Das Wasser zeigte an der Oberfläche, auf 6 Fufs Tiefe am Grunde, und in der mittlern Tiefe von 3 F. beständig Null. Auch das Grundeis hatte eben diese Temperatur. S. Bibl. Univ. VII. 304.

Grunde, gefrieren müssen, um die zur Fluidität der bewegten Wassermasse erforderliche Wärme herzugeben. Durch diese erste Ansetzung wird die Zahl der ruhigen Stellen im Strome vermehrt; die Zwischenräume füllen sich aus, und es entstehen Eisklumpen, deren Volumen bald grofs genug ist, um durch den Unterschied des specifischen Gewichts die Adhäsion am Boden zu überwinden; die Massen steigen empor, und der Flufs treibt Grundeis. Mit der Vermehrung desselben wird der freie Lauf des Stromes gestört, es bilden sich ruhige Zwischenstellen an der Oberfläche, die bald gefrieren und mit jenen schwimmenden Fragmenten vereint den Strom mit einer, gegen fernere Abkühlung beträchtlich schützenden, Eisdecke überziehen, deren Bildung ohne das Grundeis unmöglich gewesen wäre.

B. Eisbildungen der Natur im Grofsen.

1. Gletscher; Glacier; *Ice-hill.*

Die ungeheuren Ablagerungen von unvergänglichem Schnee und Eis in den Thälern und auf dem Rücken der Hochgebirge.

Die Temperatur des Erdballs ist in den grofsen Höhen der mildern Zonen, und in den weniger erhöhten Gebirgen der Polarländer so niedrig, dafs die atmosphärischen Niederschläge, die über dem flachen Lande und dem Meere als Regen herabströmen, dort meistens als Schnee niederfallen, der unverändert und ungeschmolzen, nur von Stürmen umhergeworfen, in immer wachsenden Lagen sich aufhäuft. Seine breiten Gefilde verdecken in sanften Abhängen die Felsklüfte des zerrissenen Gebirges und bahnen dem muthigen Ersteiger den Weg zu sonst unzugänglichen Höhen. Wenn der überwiegende Druck eigener Schwere diese verjährten Lasten zum Fallen bringt, oder eine äufsere Kraft sie vom steilen Abhange herabwirft, so zerfallen sie in Wolken von feinem Gestöber, das der Wind verweht. Oft auch stürzt die verdichtete Schneelast als Lawine in die Tiefe des Thales, und mehrere Sommer vermögen nicht sie zu schmelzen. So lagern sich die Schneemassen zu beiden Seiten des Gebirgszuges in den *Querthälern* desselben, während dem das breitere Längenthal von einem Strome durchzogen wird, der die Producte ihrer allmäligen Schmelzung dem niedrigern Lande zuführt. Je mehr sich der Zug der Gletscher dem Grunde des tief eingeschnittenen Thales nähert, desto mehr wirkt das mildere Klima der tiefern

Gegenden auf seine Verwandlung ein. Sonnenwärme, Regen und der Hauch warmer Winde zur Zeit des Sommers durchziehen die zusammengedrückte Schneelagerung mit Wasser, und so wird bei der Rückkehr der Kälte aus der Masse ein Schneeeis gebildet, das unterhalb dichter, in den höhern Regionen unvollständiger und lockerer ist; die obersten Höhen, welche nie Schmelzwasser oder Regen durchdringt, werden nur leicht von einer dünnen glänzenden Eiskruste überzogen, die unter dem Fuſs des Wandernden einbricht.

Die nämlichen Umstände, welche die Entstehung eines Gletschers bedingen, sind auch seiner Erhaltung günstig. In Höhen, wo ein neunmonatlicher Winter den Regen der Thalgegend in Schnee verwandelt, kann der kurze Sommer nur einen geringen Theil jener zwischen hohen Felswänden eingeschlossenen, gegen Wind und Sonne geschützten Eislagen schmelzen. Es müſste sich also Schnee auf Schnee häufen, und das Gerippe des Gebirges so hoch überdecken, daſs nur ungeheure, zerstörende Schneestürze die Ueberlast entladen könnten, und die jetzt fruchtbaren Thalgegenden weit umher unbewohnbar würden. Die Natur jedoch, immer schaffend und verändernd, weiſs das Gleichgewicht durch einfachere und gelindere Mittel wieder herzustellen. Sie läſst die Gletscher weit unter ihren Entstehungspunct in die Ebene des Hauptthales hinunter gleiten. Dicht an beblümte Wiesen, zwischen obstreiche Bäume, und in reifende Saaten hineingedrängt, kann die Eismasse der Hitze und den erwärmenden Regengüssen eines kräftigen Sommers nicht widerstehen; und wenn auch die immer sich nachschiebende Masse zuweilen keine Verminderung zu erleiden scheint, so sind doch die reichen Wasserströme, die dem Fuſs des Gletschers entfliessen, unverwerfliche Zeugen seiner Abnahme.

Der Gletscher läſst sich seiner äuſsern Beschaffenheit nach einem gefrornen Strome vergleichen, der zwischen den Felswänden eines Gebirgthales in einer Länge von 2 bis 4 deutschen Meilen und $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ Meile mittlerer Breite in verschiedenen Senkungen ins tiefere Thal hinabsteigt. Da wo er wenig geneigt ist, gleicht seine Oberfläche einer rauhen hügelichten Ebene mit körnigem Schnee bedeckt, der hie und da in der Nähe des Ufers vom Sande und Staube der verwitterten Felsen beschmutzt ist. Hier zeigen sich sparsamer jene weiten und tiefen Spalten,

die, oft von einer trügerischen Schneebrücke verdeckt, dem Reisenden verderblich werden. Wo aber die Unterlage des Gletschers sich stärker senkt, da findet er sich in gewaltige Eisblöcke zerklüftet, die bei jähen Abschüssen wild über einander gestürzt in wunderbaren gigantischen Formen von Thürmen und Gewölben vom prächtigsten Blau erglänzen. Am Ausgange des Gletschers ist seine Oberfläche mit Sand und herabrollenden mächtigen Felstrümmern bedeckt, die zu einem Damme (Moraine genannt) sich anreihen, der beim Schmelzen abgelegt auch nach Jahrhunderten die Stelle zeigt, bis zu welcher die Eismasse vorgerückt war. Hier bildet das Eis oft prächtige, haushohe Grotten, deren Tiefe graulichtweiſs der Strom entrinnt, und deren Wände das reinste Dunkelblau wiederstrahlen.

Woher dieses Vorrücken der Gletscher komme, darüber sind die Meinungen verschieden. Saussüre[1] erklärt dasselbe sehr einfach dadurch, daſs durch die Wärme der Erde, für welche die auch im Winter dem Fuſs des Gletschers entflieſsenden Quellen zeugen, im Sommer durch die Erwärmung des Bodens überhaupt und durch die Einwirkung der Luft die untersten Lagen des Gletschers geschmolzen werden, wodurch die feste Verbindung der Eismasse mit dem Boden aufhört, und diese hauptsächlich in der mildern Hälfte des Jahres durch die Wirkung der Schwere auf der schiefen Fläche des Bodens in langsamer und anhaltender Bewegung allmälig hinunter rutscht.

Diese ganz natürliche Erklärung schien jedoch einigen Naturforschern nicht genügend; sie verwarfen die allmälige Bewegung durch die mächtige Kraft der Schwere, und glaubten eine weit geringere Wirkung zu Hülfe nehmen zu müssen, nämlich die Ausdehnung des in den Gletscherspalten befindlichen Wassers, wenn es zu Eis gefriert. Besonders ist diese Idee von dem Bergrath Toussaint de Charpentier in einer zu Breslau gehaltenen Vorlesung[2] umständlich entwickelt worden. Eine Widerlegung derselben verdanken wir einem gründlichen Alpenforscher, dem verstorbenen Escher von der Linth[3]. Es mag hier genügen, das Unzulässige jener Hypothese mit wenigen Gründen darzuthun:

---

1 Voy. dans les Alpes I. p. 453.

2 G. Ann. LXIII. 388.

3 G. Ann. LXIX. 114.

1. Sind jene Querspalten selbst das Erzeugnifs der Fortbewegung des Gletschers, da sie, wie eine unbestrittene Erfahrung zeigt[1], vornehmlich da sich ergeben, wo der Abhang *steiler* wird; sie sind *sehr selten* in den *flachern* Gegenden *oberhalb* des Abhanges, und die Fortschiebung der Masse an der steilern Stelle kann also nicht von dem Keildrucke des spärlichen Eises jener unbedeutenden höher liegenden Spalten bewirkt worden seyn, sondern sie ist das Resultat des Gewichtes der Masse, die, über das convexe Bord des Abhanges geschoben, nothwendig nach der Richtung dieses Standes, d. h. quer auf den Thalweg, gebrochen werden mufs. Eben deswegen müssen diese Spalten keilförmig, d. h. oberhalb weiter als unten seyn. Einige dieser Spalten sind auch zuweilen ganz durchgehend bis auf den Boden des Gebirges, zu welcher Durchbrechung die erwärmende Kraft des von der Sonne geschmolzenen Eiswassers, in welchem nach den oben unter a. entwickelten specifischen Schweren des Wassers die wärmsten Schichten die untersten sind, vieles beitragen mag[2].

2. Die Bewegung der Gletscher findet nicht im Winter, sondern in der wärmern Jahreszeit statt, wie das die öfters und zwar im Sommer angestellten Messungen, und die mit Donner ähnlichem Getöse begleiteten Erschütterungen der Gletscher in dieser Jahreszeit beweisen[3]. Allein nach SAUSSÜRE's sorgfältiger Beobachtung[4] gefriert das Wasser in jenen Spalten im Sommer höchstens einen Finger dick zu, so dafs von einer so

---

1 Auch Pater BISELX in s. Abhandl. von dem Schnee, den Lawinen und Gletschern in den Alpen. (Bibl. Univ. 1819. u. in G. Ann. LXIV. 183) bemerkt, dafs diese Spalten sich stets da finden, wo das Thal stärker sich neigt.

2 Uebereinstimmend mit der schmelzenden Kraft, durch welche das auf dem Gletscher durch die Sonne erwärmte Wasser sich unterwärts in das Eis einfrifst, und *Löcher* von einiger Tiefe bildet, deren Entstehen Rumford aus dem Niedersinken der wärmern Wassertheile befriedigend erklärt hat. G. Ann. 1800.

3 CHARPENTIER behauptet zwar, (a. a. O. S. 400) ohne nähern Beweis, das Vorrücken der Gletscher finde im Frühjahr, *nicht im Sommer oder Herbste* statt. Wenn wir auch, mannigfachen Erfahrungen entgegen, das Letztere zugeben wollten, so wäre doch wenigstens Thauwetter dazu nothwendig. Niemand aber wird dem *aufthauenden* Eise eine so grofse Ausdehnungskraft zuschreiben.

4 Voy. T. I. Chap. VII. p. 445.

dünnen Eistafel keine Wirkung zu erwarten ist. Sollte später bei vermehrter Kälte das Wasser auch im Innern gebildet werden, so würde es mit leichterer Mühe die, bei der Erweiterung der keilförmigen Spalte nach oben leicht zu hebende, obere Eisdecke sprengen, als Lasten von vielen Millionen Pfunden auseinander treiben.

3. Wäre die Bewegung der Gletscher das Resultat einer solchen Ausdehnung des Eises im Augenblicke des Gefrierens, so müſste sie stoſsweise und zwar entweder in den ersten Herbstfrösten oder zur Winterzeit erfolgen. Beides ist nicht der Fall; der Gletscher bewegt sich langsam und allmälig mit einer Geschwindigkeit, die nur nach Tagen und Wochen durch seine Annäherung an abgesteckte Zeichen bemerkbar wird; und dieses sanfte Fortrücken geschieht gleichwohl mit einer so unwiderstehlichen Macht, daſs auch feste Felsen sie nicht aufzuhalten vermögen. Ein glaubwürdiger Alpenforscher, Kuhn[1] führt hiervon ein merkwürdiges Beispiel an. Auf dem Gletscher des Mattenberges bei der Ortfluh sah er im Jahr 1779 einen mächtigen Granitblock zwischen der Seitenwand des Gletschers und einer vorspringenden Felsenecke eingeklemmt. Dieser wurde durch das weitere Vorrücken der Eismasse so gepreſst, daſs er in einigen Wochen nach und nach in kleine Stücke zerbrach, von denen keines mehr einen Kubikfuſs hielt.

Es gehört wahrlich ein wenig Paradoxie dazu, um die Bewegung der Gletscher von einer im Verhältniſs der zu bewegenden Masse so kleinen, vereinzelten Kraft, wie diejenige des gefrierenden Wassers in den Gletscherspalten ist, herzuleiten, und den diametralen Gegensatz der Zeiten, in welchen die vermeinte Ursache und hingegen die Wirkung statt hat, übersehen zu wollen, wenn dieser Ursache gegenüber uns eine Kraft zu Gebote steht, welche, von keinen Zufällen abhängig, stetig wirkend, und mächtig genug ist, um alle Erscheinungen im Einklange mit der Erfahrung auf eine ungezwungene Weise zu erklären. Selbst ein Laie in der Statik wird, wenn er die unleugbaren Spuren der Bewegung einer solchen ungeheuern Eismasse, ihr Zerbrechen an stärker geneigten und convexen Stellen, ihr ganz allmäliges Fortrücken wahrnimmt, und dabei die

---

1 Höpfner's Magazin f. d. Naturkunde Helvetiens. 1787. 8. T. I. S. 130.

beträchtliche Neigung der Ebene, auf welcher diese wenig cohärente Masse aufgelagert ist, betrachtet, des natürlichen Gedankens sich nicht erwehren können, daſs hier die allgemeine und allmächtige Kraft der *Schwere* thätig sey. Nehmen wir die Reibung des Eises an der Fläche des Berges, und die Summe aller localen kleineren Widerstände auch zu $\frac{1}{3}$ der Last an, so wird sich bei einer Neigung von 20 Grad gegen die Horizontallinie die Masse dennoch in Bewegung setzen. Die neuern Untersuchungen über die Wärme der Erde belehren uns, daſs sie in den Tiefen beträchtlich erwärmt, und ihre Temperatur an der Oberfläche nur eine durch Ausstrahlung bewirkte, von den Sonnenstrahlen nicht in allen Klimaten hinlänglich compensirte Erkältung sey. Unter dem Gletscher ist die Erde gegen diese Ausstrahlung geschützt, und selbst eine bedeutende atmosphärische Kälte würde Eismassen von einigen hundert Fuſs Dicke nicht durchdringen. Wir dürfen also annehmen, daſs die Temperatur des Bodens der Eismasse selbst im Winter nur wenig unter Null sey, und beim Eintritt der mildern Jahreszeit durch den Zutritt des Regens und der wärmern Luftströme, die durch jene Grotten unter den Gletschern hinaufsteigen, bald um so viel über den Eispunct erhoben werde, als nöthig ist, um die beiden berührenden Flächen *naſs* zu erhalten. Rechnen wir dazu die, aus dem oben angeführten Experimente mit den Felsen hervorgehende, zermalmende Kraft so ungeheurer Eislasten, so werden wir das Bette des Gletschers so ziemlich ausgeebnet annehmen müssen, so daſs eine Reibung von $\frac{1}{3}$ wohl noch zu hoch angeschlagen seyn dürfte. Da die Curve des Thalabhanges oberhalb meist stärker gekrümmt ist, als bei ihrem Auslauf, so ersetzt die steilere Senkung des Abhanges und der losere Zusammenhang der Schneemasse die Hindernisse einer stärkeren Reibung und den Mangel der nachschiebenden Masse; und so können wir uns getrauen, zur Erklärung des Fortschiebens der Gletscher mit der einfachen Wirkung der Schwere auf der geneigten Ebene auszureichen, ohne weiter der Ausdehnung des gefrierenden Wassers, noch der innern Einstürze unterhöhlter Eisgewölbe[1] zu bedürfen.

Der oben aufgestellten Ansicht zu Folge erhält also der Gletscher sein Wachsthum von dem Schnee, welcher jährlich

---

1 Nach der Meinung Eschers von der Linth. G. Ann. LXIX. 115.

in den höheren Theilen des Gebirges fällt und von den schroffen Felsenabhängen, wo er nicht festhalten kann, in die Einsenkung herabrutscht. Die der Tiefe allmälig zugleitende Masse wird noch durch Lawinen und Schneestürze oft beträchtlich vermehrt. Thauwetter, Regen und Sommerwärme befördern das Hinabgleiten des Gletschers, daher er zuweilen mehrere Jahre hindurch bedeutend ins Hauptthal hinaustritt. In warmen Sommern wird er dort beträchtlich geschmolzen, weniger in nafskalten; daher bei gleicher Fortschiebung das Hinaustreten in die Ebene (das *Vorrücken des Gletschers*) nach *nassen* Sommern stärker erscheint, als nach trockenen; auch muſs dazu die in der Höhe, eben der nassen Witterung wegen, häufigere Schneeablagerung mitwirken. Nach mehreren warmen und trockenen Sommern wird die Abschmelzung am untern Theile vermehrt, die Zunahme in den höheren Regionen, des heitern Wetters wegen, verringert, und der Gletscher *zieht sich zurück*, weil mehr geschmolzen wird, als nachkommt. An eine *Periode* dieses Vorrückens und Zurücktretens ist nicht zu denken. Oft nimmt ein Gletscher mehrere Jahre hindurch beträchtlich zu, während dem ein anderer benachbarter abnimmt[1]. Auch die *Schnelligkeit* der Fortbewegung ist sehr verschieden. Der Bosson-Gletscher im Chamounithale war vom August 1815 bis Juli 1816 um 50 Fuſs vorgeschritten[2], nach Charpentier's Angabe[3] sogar in 3 Jahren 1048; oder jährlich 350 Fuſs. Auch Kuhn[4] erwähnt vom Grindelwald-Gletscher, im Jahr 1773 daſs er eines Tages hart an einem Felsblocke gestanden habe; am folgenden Morgen war er auf die Mitte desselben vorgerückt, und am nämlichen Abend war der Block bereits ganz vom Eise bedeckt.

Daſs das Vorrücken der Gletscher auch in den Höhen des ewigen Schnees statt finde, davon zeugen die Unglücksfälle, welche im Frühjahr 1818 das Bagnethal in Wallis an der südlichen Grenze der Schweiz betroffen haben. Die Abstürze des hohen Getrozgletschers hatten die Thalverengung, durch wel-

---

1 Zahlreiche Beispiele hiervon finden sich in Biblioth. Univ. XIV. 285.

2 Bibl. Univ. 1816. Juniheft u. G. Ann. LXIV. 200.

3 G. Ann. LXIII. 409.

4 Höpfners Mag. I. 125.

che die Drance abfliefst, ausgefüllt, und das Wasser zu einem grofsen See aufgestauet, dessen plötzlicher Durchbruch durch das ganze Thal hinunter die gräfslichsten Verwüstungen anrichtete, indem in weniger als einer halben Stunde mehr als 530 Millionen Kubikfufs abflossen. Die Anhäufung dieser Gletschermasse ist nun seither durch die sinnreiche Idee des dortigen Ingenieurs Venetz, den Gletscher durch Quellwasser, das aus der Entfernung in hölzernen Rinnen auf derselben hingeleitet wurde, zu zerschneiden, mit dem besten Erfolg verhindert worden [1].

Bemerkenswerth sind auch die uralten mit Erde bedeckten Gletscher, welche Dr. Escholz auf Kotzebue's Reise auf der Nordwestküste von America entdeckte [2]. Ein Gletscher von mehr als 100 Fufs Dicke, war in seiner ganzen Länge ½ Fufs hoch mit einer Mischung aus Lehm, Sand und Erde bedeckt, auf welcher das üppigste Gras wuchs. Im Eise fanden sich viele Mammut-Knochen und Zähne. Die nämliche Wahrnehmung hatten am 21. Aug. 1596 die Gefährten von Heemskerk auf Nova Zembla gemacht. Sie bestiegen einen Eisberg von 60 Fufs Höhe über dem Wasser, der oben mit Erde bedeckt war, wo sie an 40 Eier fanden [3].

2. Eisberge im Meere.

Montagnes de glace; *Ice-bergs.* Schwimmende Eismassen, Eisfelder; Champs de glace; *Fields Floes.* Meereis, Treibeis, Polareis; Ballots de glace; *Loose ice.* Alle diese Benennungen machen nur einen geringen Theil der besondern Namen aus, mit welchen die Seefahrer die verschiedenen Arten von Eis bezeichnen, die ihnen oft hinderlich, bisweilen Gefahr und Verderben bringend sind. Sie lassen sich hauptsächlich unter drei Classen bringen: *Eisfelder; Treibeis; Eisberge.* Die *Erstern* bilden zusammenhängende Ebenen von geringerer Höhe über dem Wasser,

1 S. Bibl. Univers. XXV. 240.

2 Entdeckungsreise in die Südsee und nach der Behringstrafse. 1821. 4. 8. 146.

3 „Ce banc de glace étoit couvert de terre sur le haut." Recueil des Voy. T. I. pag. 75.

aber von solcher Ausdehnung, daſs sie selbst von der obersten Höhe des Mastes sich nicht absehen läſst. Das *zweite* bezeichnet loses, offenes Eis, Trümmer eines Eisfeldes, zwischen welchen man hindurch segeln kann. *Eisberge* endlich sind Eismassen von ungeheurer Höhe und Gröſse; welche bald schwimmend, bald fest in den Polar-Meeren angetroffen werden.

Gefrieren des Meeres. Die nur von Wenigen in Zweifel gezogene Thatsache, *daſs das Meereis beim Schmelzen süſses Wasser liefere*[1], brachte verschiedene Physiker auf die Meinung, „daſs das Eis nur an den Küsten, am Abhange der Inseln und Continente, und an den Mündungen der Flüsse sich bilde, weil *salziges Wasser nur salziges Eis* liefern könne[2].“ Allein die Verwandlung, welche im Augenblick des Gefrierens mit dem Wasser überhaupt vor sich geht, ist zu bedeutend, als daſs nicht, eben so wie bei der Dampfbildung, seine Verbindung mit einem fremden Stoffe dadurch merklich gestört und verändert werden sollte; und die Anziehung, die beide Stoffe auf einander haben, kann höchstens die Trennung derselben verzögern, so daſs Salzwasser, je nach Maſsgabe seiner Dichtigkeit, bei einer gröſsern Kälte gefriert, als reines Wasser. Dann zumal aber wird, wie das auch bei der Krystallisation anderer flüssigen Mischungen der Fall ist, der fremde Stoff ausgeschieden, und was gefriert, ist nur Wasser allein. Nur bei groſser Kälte, und (etwa beim künstlichen Versuche) in abgesonderten geringen Portionen, wenn die Erkältung schnell von allen Sei-

---

1 Für diesen Satz sprechen zahlreiche Erfahrungen aus verschiedenen Zeiten: Schon Frobisher fand (1578) 100 Meilen weit vom Lande Eis, welches geschmolzen süſses Wasser lieferte. S. Reinhold Forster's Gesch. der Schifffahrten in Norden 1748. 8. S 326. John Davis (1585) lud ein ganzes Boot voll, das ein gutes Trinkwasser gab. (Forster S. 345). Eben dieses that Weimouth im Jahre 1594. (Ebend. S. 362). Späterhin noch mehrere. Unter den Neuern bediente sich dieses Hülfsmittels Cook auf seiner Reise nach dem Südpol (1773) A Voy. towards the Southpole; 8 Ed. 4. T. I. p. 37) der dafür unverdient von Sir John Pringle als der erste Erfinder desselben gepriesen wurde; und Ross. (Voy. to the Baffinsbay. p. 48.)

2 Buffon, (Hist. nat. ed. in 12. T. I. p. 313. T. II. 91). Lomonossof (Schwed. Abhandl. Bd. XXV.) und Cranz (Hist. v. Grönland T. I. 38 und 42). In neuern Zeiten auf Versuche gestützt, Dr. Higgins (Probability of reaching the Northpole. Suppl. p. 121) und Parrot (*Physik.* II. S. 71 und III. 369. u. G. Ann. LVII. 144).

ten wirkt, gefriert das Salzwasser zu einem porösen, undurchsichtigen Eise von grünlicher Farbe [1] und etwa 0,7 specif. Gewicht. Das auf der Oberfläche des Meeres sich bildende Eis ist hingegen schön, dicht und durchsichtig, gerade wie das gewöhnliche reine Süſswassereis, und wie die Erfahrung gelehrt hat, frei von Salzgeschmack. Es ist hart und brüchig, und springt in scharfkantige Stücke; es ist nur um $\frac{1}{30}$ leichter als Seewasser in der Temperatur des Frostpunctes; in süſsem Wasser ragt $\frac{1}{16}$ desselben über der Oberfläche empor.

Dem Gefrieren oft vorangehend, für den Seefahrer höchst verdrüſslich und selbst gefährlich, ist ein Phänomen, das auch oft auf Flüssen, seltener auf stehenden Wassern sich zeigt, der *Frostdampf*. Diese Art von Nebel, die den höhern Breiten eigen ist, scheint, wie die sichtbare Verdunstung des Wassers, wenn es durch künstliche Mittel erhitzt wird, aus der gröſsern Wärme des Wassers im Verhältniſs zur umgebenden Luft zu entstehen. Das Meer ist bei dieser Erscheinung gemeiniglich um 10 bis 14° R. wärmer als die Luft; es entsteht daher eine beträchtliche und gröſsere Verdunstung, als die Capacität der Luft für die Dünste mit sich brächte, und der Wasserdampf wird *verdichtet*. Der dickste Frostdampf wird nur bei *heftigem Winde* wahrgenommen, und nimmt, bei gleicher Temperatur und Feuchtigkeit der Luft mit der Bewegung des Meeres zu. Eben so ist er auch stärker über *bewegtem*, strömendem, als über stehendem Wasser. Auf dem Meere bildet er bei unruhiger See eine dicke Nebelschicht von 80 bis 100 Fuſs Höhe, welche sich an das Tauwerk der Schiffe und alle Hervorragungen eben so ansetzt, wie unser Reif. Er ist häufiger bei wolkenlosem Himmel und trockener Witterung, als bei feuchter, und bedecktem Himmel. Während dem er unten eine höchst beschwerliche und (da er immer in Begleitung eines starken Windes erscheint) auch gefährliche Finsterniſs verbreitet, so kann man von der Höhe des Mars aus Schiffe in einer Entfernung

1 Wenn Parrot (G. Ann. LVII. 146) das geringe Quantum von 12 Unzen Salzwasser eine ganze Nacht hindurch einer Kälte von — 6 bis — 9° R. aussetzte, so ist dieses wohl keine *mäſsige* Kälte (S. 157) zu nennen, da sie den Gefrierpunct der Soole um mehrere Grade übertrifft, und an eine Ausscheidung des Salzes ist freilich bei einer so totalen Erkältung nicht zu denken. Bei seinen übrigen Versuchen war die Kälte gar — 13, — 17 und — 24° R.

von 5 bis 6 Seemeilen, und ein hohes Land auf 10 bis 15 Stunden weit erkennen[1]. Nach Mitchill[2] muſs das Salzwasser $11\frac{1}{2}°$ R. wärmer seyn, als die Luft, um *sichtbare* Dämpfe auszustoſsen, da hingegen Regenwasser dazu nur einen Ueberfluſs von $8\frac{1}{4}°$ R. bedarf.

Eisfelder. Die Natur, auf dem Meere überall groſs in ihren Wirkungen, verfährt in der Bildung dieser Eismassen nach einem so ungeheuern Maſsstabe, daſs alle Vorstellungen, die wir vom beengten Festlande dorthin übertragen, gegen die Wirklichkeit in Nichts verschwinden. Die Eisfelder haben nach Scoresby[3] gewöhnlich nur etwa 4 bis 6 Fuſs Höhe über dem Wasser und gegen 20 Fuſs Tiefe unter demselben, sind aber manchmal gegen 100 nautische Meilen (25 deutsche) lang und 50 breit.[4]. Zuweilen sind sie am Lande fest; häufig aber treiben sie in freier See herum. Ungeheure Eisfelder machten seit Jahrhunderten die Ostküste von Grönland unzugänglich. Nach Scoresby kommen sie von Norden her, und haben ihren Ursprung zwischen Spitzbergen und dem Pole. Die Anhängung an das Land oder der Schutz der Küste ist, wie eben dieser Schriftsteller behauptet, zum Gefrieren der See gar nicht nothwendig; er sah das Eis auf 20 Stunden weit von Spitzbergen sich bilden. Selbst die Wellen vermögen sein Entstehen nicht zu hindern. Erst erzeugen sich kleine Krystalle, deren Menge das Wasser in eine Art *Schlamm* zu verwandeln scheint, als wenn es mit Schnee vermischt wäre. Gleich Oel macht dieses die krause Fläche des Wassers glatt. Die Krystalle vereinigen sich dann zu Scheiben, die aber der beständigen Bewegung wegen nicht über 3 Zolle Durchmesser erhalten können; allmälig werden diese dicker, und in eben dem Maſse können sie auch zu ausgedehnten Flächen sich vereinigen. Reibung und Wellenschlag rundet sie ab, und giebt ihnen einen aufstehenden scharfen Rand; daher ihnen der Witz der Seeleute der Namen *Pfann-*

1 Siehe hierüber Scoresby Voy. to the Northern Whalefishery. Deutsch. Übers. S. 53.

2 Medical Repository. Vol. IV. übers. in Albers american. Ann. d. Arzneikunde, Naturgesch. Chemie und Physik. Bremen 1802. 8. Heft I. S. 105. G. Ann. XI. 74.

3 Ann. de Ch. et Phys. 1817 und G. Ann. LXII. p. 4.

4 Eben diese Gröſse giebt auch Crantz an; Hist. v. Grönland. T. I. S. 42.

kuchen (pancakes) ertheilt hat. Die gröfsern dieser *Pancakes* haben jedoch über 1 Fufs Dicke und mehrere Klafter Umfang.

Ist die See ruhig, so bildet sich eine zusammenhängende Eisdecke, die von unten her immer dicker wird. Während 24 Stunden scharfen Frostes kann die Eisdecke 2 bis 3 Zoll dick [1], und in weniger als 48 Stunden stark genug werden, einen Mann zu tragen. In geschützten Lagen kann ein solches Eis in Zeit von einem Monat 1 Fufs dick werden, woraus sich abnehmen läfst, dafs in einer Reihe von Jahren die dicksten Eisfelder auch nur auf diesem Wege sich bilden können. Sie werden aber auch durch Zuwachs von Oben vergröfsert. Während der neun Monate anhaltenden Frostes jener Gegenden fällt 2 bis 3 Fufs hoch Schnee, welcher dann beim Thauwetter im Juni und Juli mit Schneewasser durchzogen, im September wieder zufriert; und so wird im Laufe der Jahre eine Masse gebildet, deren Ausdehnung und Höhe allen Elementen trotzen könnte, wenn die Natur nicht durch einfache und stillwirkende Mittel sich ihrer zu entledigen wüfste.

Einige Eisfelder sind so eben, ohne Spalten oder Höhlen, dafs ein Wagen ohne Anstofs viele Meilen weit gerade aus über sie hinfahren könnte. Doch finden sich auf den meisten oft beträchtliche *Erhöhungen* (*Hummocks*), die entweder von übergeschobenen grofsen Eisstücken oder zusammengeweheten Schnee herrühren, und durch wunderbare Gestalten und den Glanz ihres durchscheinenden Grüns das Auge ergötzen.

Treibeis. Jene ungeheuren Eismassen, deren Anhäufung eine immer mehr sich ausbreitende Erkältung hervorbringen müfste, werden durch südwestliche Strömungen den wärmern Klimaten zugeführt, die selbst bei Windstillen und gegen den Wind so wirksam sind, dafs jene Massen in Monatsfrist auf 100 Seemeilen (25 geographische) fortschwimmen, was eine Geschwindigkeit von $2\frac{1}{4}$ Fufs in der Secunde giebt, grofs genug, um mit einer so furchtbaren Last multiplicirt, eine unwiderstehliche Kraft zu bilden. Stürme und Wellenschlag zerbrechen

---

1 Barenz fand auf seiner dritten Reise nach Norden 1595, dafs das Meer schon im September in einer Nacht zwei Finger dick fror. Recueil des Voy. qui ont servi à l'établissement de la Comp. des Indes Orient. T. I. p. 82.

sie in kleinere Eisfelder und Treibeis, und gewähren der schmelzenden Kraft der wärmern Gewässer bessern Zugang. Die im hohen Norden entstandene Leere der Meeres-Oberfläche wird bald wieder mit neuen Erzeugnissen des Frostes ausgefüllt; und es kommen an die Stelle der zerstörten Eisfelder neue herab, zuweilen weiſse Bären, die einzigen Bewohner jener erstarrten Gegenden, entführend. —

Winde, Ungleichheit der Strömung und der Anstoſs anderer Massen bringen nicht selten den Eisfeldern eine *drehende* Bewegung bei, vermittelst welcher ihr Stand einen Raum von mehreren Seemeilen in einer Stunde (5 bis 8 Fuſs in der Secunde) durchläuft. Kömmt ein solches Eisfeld mit einem ruhenden, oder gar mit einem in Berührung, das nach entgegengesetzter Richtung sich dreht, so giebt das einen Stoſs, der bei Massen von 30 Quadratseemeilen Oberfläche und 13 Fuſs Dicke, also etwa 200000 Centner Gewicht, ein fürchterliches Schauspiel darbietet. Das schwächere Feld wird unter heftigem Krachen zermalmt; manchmal zertrümmern sich beide, und nicht selten schieben sich dabei Stücke von ungeheurer Gröſse so über einander, daſs sie 20 bis 30 Fuſs über dem Wasser hinausragen. Wehe dem Schiffe, das etwa im Nebel oder bei Windstillen zwischen solche Eisfelder geräth; es wird zerquetscht, oder wenigstens sehr beschädigt, zuweilen auch auf das Eis hinaufgeschoben; Unglücksfälle dieser Art sind gar nichts seltenes[1]. Die Wallfischfänger sind genöthigt, zur Verfolgung ihrer Beute sich zwischen das Treibeis zu wagen; oft auch bietet ein enger Canal zwischen schwimmenden Eismassen den einzig möglichen, aber zweifelhaften Ausweg dar, um einer gänzlichen Einschlieſsung des Schiffes, die unfehlbar zum Ueberwintern nöthigen würde, zu entgehen.

Eisberge. Diese sind, wenn auch an Volumen und Ausdehnung geringer als die Eisfelder und manche treibende Eismasse dieser Art, durch ihre Aufthürmung auffallender und gewähren einen erstaunenswürdigen, erhabenen Anblick. Ihre beträchtliche Erhebung über dem Wasser läſst auf eine etwa

---

1 Scoresby im J. 1804 und 1813. (Account of the arctic regions. G. Ann. LXII. 16) Capt. Ross im J. 1818. Voy. to the Baffinsbay. p. 61 und 76. Im J. 1777 gingen 5 holländische Schiffe auf diese Weise zu Grunde.

8 oder 9 mal grösere Einsenkung in die Tiefe schliefsen, so dafs ihre ganze Höhe zuweilen bis auf tausend Fufs gehen kann. Sie scheinen in der Nordsee weniger zahlreich als in der Baffinsbay zu seyn, was auf ihre Entstehung am Lande hinzuweisen scheint. Der gröfste Eisberg, den Scoresby an der Küste Grönlands sah, hatte etwa 3000 Fufs im Umfange, eine viereckige Gestalt, eine regelmäfsige Oberfläche, die etwa 20 Fufs über den Wasserspiegel erhoben war, und bestand aus der dichtesten Art von Eis; er mochte noch etwa 160 Fufs unter die Wasserfläche herabgehen, und ungefähr 2 Millionen Tonnen (jede zu 20 Centner) wiegen. In der Davisstrafse hingegen fanden sich zuweilen Massen von 12000 Fufs Länge, 4000 Fufs breit mit Berggipfeln und Hörnern von mehr als 100 Fufs Höhe, die also auf eine Tiefe von 500 Fufs unter der Wasserfläche sich erstrecken mufste, ja selbst ebene Massen von 180000 Quadratfufs Oberfläche und 150 Fufs sichtbarer Höhe, welche in 90 bis 100 Klafter tiefem Wasser auf den Grund liefen und deren Gewicht mehr als 2000 Millionen Tonnen betragen mufste. Auch Weddell auf seiner Reise nach dem Südpole in den J. 1822, 23 und 24 traf auf Eismassen von 2 Meilen Länge und 250 Fufs Höhe über der Wasserfläche. Ihre Menge ist nicht weniger erstaunenswürdig, als ihre Höhe. Cook fand am 23. Dec. 1773 im südlichen Eismeere 186 solche Eismassen um sich her, deren keine geringer als das Schiff war [1], und Rofs zählte am 10. Juny 1818 in der Baffinsbay in 70° N. Br. nur auf der einen Seite des Horizonts an 700 Eisberge [2].

Von beiden Polen her werden diese Eismassen, Eisfelder sowohl als Eisberge, der gemäfsigten Zone zugeführt. In 52° südlicher Breite am 12. Dec. 1772 traf Cook auf einen schwimmenden Eisberg von 2 Seemeilen im Umfange und 60 Fufs Höhe. Dennoch brach sich die stürmische See über ihn hin [3]. Frézier begegnete am 13. März 1714 in 58° südl. Breite und 68. W. Länge einer Eismasse von ein paar tausend Fufs Länge und wenigstens 200 Fufs Höhe [4]. Im nördlichen Atlantischen Meere

1 Forster's Bemerk. auf der Reise um d. Welt gesammelt S. 60.

2 Voy. pag. 48.

3 Voy. to the South pole. T. I. p. 23.

4 plus de trois encablures de long. Relation du Voy. de la Mer du Sud. aux côtes du Chily et du Perou. Paris 1716. 4. pag. 260.

sah Capt. Beaufort Eisberge in 46° N. Br.; Lt. Parry trieb noch am 4. Oct. in 44° Breite südlich von Neufundland 3 Tage in Grönländischem Treibeise, und das Packetboot von Halifax traf mehrere ausgedehnte Eisinseln in 42° Breite, deren einige 200 bis 250 Fuſs Höhe zu haben schienen. Am 19. Januar 1818 wurde die Brigg Anna bei ihrer Abfahrt von Neufundland (im 47° N. B. ganz vom Treibeise besetzt, so daſs selbst von der Spitze des Mastes keine Oeffnung zu erblicken war. Sie trieb mit dem Eise 15 Tage lang 60 Seemeilen in südöstlicher Richtung; die Eismassen wurden nun mächtiger, indem sie etwa 14 Fuſs aus dem Wasser hervorragten; und unter ihnen befanden sich mehr als 20 höhere Eisberge. Erst in 44° 37′ N. B. und über 300 Meilen östlich vom Lande fand sich endlich am 17. Febr. eine einzige Oeffnung in der unabsehbaren Umkreisung von Eise, durch die man der 29 tägigen gefahrvollen Gefangenschaft entrinnen konnte [1].

Die Seefahrer sprechen mit Lebhaftigkeit von den seltsamen Gestalten, unter welchen diese ungeheuren schwimmenden Eisblöcke zuweilen als gigantische Werke der Kunst sich darstellen. Kolossale Abbildungen menschlicher Figuren, Eisbären auf 30 Fuſs hohen Fuſsgestellen; Löwenköpfe, Büsten, antike Tische, hohe Thore und Eishallen, Thürme und Pyramiden erscheinen hie und da mit solcher Bestimmtheit, daſs es keineswegs einer fruchtbaren Einbildungskraft bedarf, um sie dafür zu erkennen [2].

Allein, während dem das Auge an diesen kolossalen Spielen der Natur sich ergötzt, wird das Gemüth von Schauer durchdrungen, wenn man die Gefahr bedenkt, welche die Nähe so ungeheurer zerbrechlicher Massen, die nur auf dem Fundament des trüglichen Gewässers ruhen, dem Seefahrer bringen kann. Ein Hinderniſs, das sie beim Forttreiben unter dem Wasser

---

1 Alle diese Beispiele nebst noch Andern finden sich im Quarterly Rewiew in einer Recension von Burney's Abhandlung über die Geographie des Nordöstlichen Asiens in den Philos. Trans. for 1818, die den Beförderer der neuesten Nördlichen Expeditionen, Barrow, zum Verfasser hat. Versinnlichende Zeichnungen von Eisbergen finden sich in den Kupfern zu Ross Reise, auch zu Scoresby's angegebenen Werken. Vergl. Manby Journal of a Voyage to Greenland. 2. ed. London 1823. 8.

2 Scoresby Tageb. und Reise auf den Wallfischfang. S. 107.

antreffen, der Anstofs an einem andern Eisgebirge, das Abbrechen eines überhangenden Theils reicht hin, um sie aus dem Gleichgewichte zu bringen, und mit donnerndem Getöse umzustürzen. Schon viele Schiffe sind, durch abstürzende Eismassen zerschmettert, und die Boote vom Strudel in den Grund gerissen worden [1]. Zuweilen kann irgend eine Erschütterung, das Einhauen mit der Axt, ein solches Gebirge zerspalten und einstürzen machen [2].

Schon oben wurde aus der Seltenheit der Eisberge an der Grönländischen Küste und ihrer grofsen Anzahl in der Baffinsbay auf ihre Abstammung von der Küste geschlossen. Noch wahrscheinlicher wird dieses durch den Umstand, dafs man, wie auf den Gletschern des Festlandes, auf den schwimmenden Eismassen Sand und Steine antraf. Schon Lucas Fox auf seiner Reise nach der Hudsonsbay 1631, sah auf einem Eisberge einen Felsblock liegen, den er auf 120 Centner an Gewicht schätzte [3]. Aehnliches berichten auch spätere Seefahrer [4]. Hierdurch gewinnt die Vermuthung, dafs die eigentlichen Eisberge wirkliche, aus den Quer-Thälern der 2000 bis 4000 Fufs hohen Gebirge hervorgetriebene, Gletschermassen, mithin nicht Meereis, wie die Eisfelder, sondern ein Erzeugnifs von Schnee und Regenwasser seyen, eine grofse Wahrscheinlichkeit. Doch äufsern sich Scoresby [5] und auch R. Forster [6] dahin, dafs der gröfsere Theil der Eisberge in den geschützten Buchten der Küstenländer aus sogenanntem *Bay-Eis* gebildet, dann durch Regen und Schnee vergröfsert, nach Jahren hinausgetrieben, und durch Stürme über einander geschichtet, zu so hohen Massen aufgethürmt werden. Scoresby glaubt, dafs so wie in den

---

1 So das holländische Schiff Wilhelmine im J. 1777 S. auch Forster's Bemerk. auf s. Reise um die Welt S. 64. u. s. Gesch. der Schifffahrten im Norden. S. 365.

2 Scoresby a. a. O. G. Ann. LXII. 25. und dasjenige was Ross S. 78. s. R. erzählt. Cranz Hist. v. Grönland I. 35.

3 R. Forster in einem Briefe an Höpfner, den Herausgeber des Magazins f. d. Naturkunde Helvetiens. T. II. 276.

4 Auch Weddell auf s. Reise nach dem Südpol in den J. 1822—24. fand in 68° südl. Br. eine Eisinsel, von welcher ein Theil mit schwarzer Erde bedeckt war, so dafs man sie anfänglich für einen Felsen hielt. Bibl. univ. XXXI. 200.

5 A. a. O. S. 34.

6 Gesch. d. Schifffahrten im Norden S. 455.

zahllosen Buchten der Baffinsbay, so auch an der Ostküste von Spitzbergen der Stammort dieser jährlich in so ungeheurer Menge nach Süden geförderter Eisbildungen sey, und dafs wahrscheinlich nahe am Pole ein Festland von Eisbergen sich befinde, dessen Kern vielleicht so alt als der Erdball selbst ist, und das sich alljährlich vergröfsert [1].

Der Eisblink; *Ice-blink.*

So oft man sich einem gröfsern oder kleinern Eisfelde nähert, bemerkt man bei ziemlich wolkenlosem Horizonte, oft auch sogar bei dichtem Gewölke, einen Streif von glänzend weifser Farbe am Horizonte. Dieses Eisblinken ist der sichere Verkündiger herannahender Eisfelder. Die, zumal bei hellem Wetter meist sehr starke Strahlenbrechung scheint hierbei eine wesentliche Rolle zu spielen. Unter recht günstigen Umständen stellt der Eisblink dem Auge eine vollständige Charte von dem Eise und dem darin vorhandenen offenen Wasser auf 20 bis 30 See-Meilen rund umher dar, so dafs der Kenner füglich die Gestalt und muthmafsliche Gröfse aller gröfsern und kleinern Eisfelder innerhalb dieser Grenze bestimmen, und dichtes oder lockeres Treibeis an dem dunklern und weniger gelben Schein unterscheiden kann, während jede Wasserader und jeder See durch ein tiefes Blau oder einen schwarzblauen Fleck [2] mitten im Eisblink das offenere Wasser zu erkennen giebt [3]. Ein Eisfeld bringt den hellsten Eisblink mit einem Anstrich von Gelb hervor: Treibeis von grofser Ausdehnung giebt sich durch ein reineres Weifs, und neu entstandenes Eis durch ein graulichtes Licht zu erkennen. Auch Land, welches mit Schnee bedeckt

---

1 Vor etwa 20 Jahren wurde in Folge von *Peron's* voreiliger Annahme, dafs *die Tiefe des Meeres mit ewigem Eise bedeckt sey*, die Entstehung der Eisberge gar einfach mit dem Ausspruche erklärt: „Es sind Eismassen, die sich vom Boden des Meeres abgelöst haben, und zur Oberfläche empor geschwommen sind." Heutzutage, da man eben so eilfertig aus der, mit der Tiefe zunehmenden, Erwärmung des *äufsern* Theils der Erdrinde, uns wieder an die alte Lehre vom Centralfeuer verwiesen hat, dürfte diese Hypothese von ihren Urhebern schwerlich wieder anerkannt werden. S. den Bericht üb. Peron's Reise im Journ. de Phys. T. LIX. 361 u. G. Ann. XIX. 445. nebst Leop. von Buch's Bemerkungen hierüber. Ebend. T. XX. 341.

2 A Water-sky nach Parry.

3 S. Scoresbys Beobachtung v. 7. Juny. 1822. Tagebuch. S. 104.

ist, verursacht einen Eisblink, der jedoch gelber erscheint als der von Eisfeldern. Die ganze Erscheinung ist wahrscheinlich das Product einer ungewöhnlichen Strahlenbrechung, welche durch die verschiedene Temperatur der über dem Schnee und den Wasserflächen befindlichen Luftschichten hervorgebracht wird, und die bei hellem Wetter in den Polargegenden so häufig vorkommt.

3. Eisgrotten, Eishöhlen; glacières naturelles.

Natürliche Höhlungen in den Gebirgen, in welchen das Eis sich das ganze Jahr hindurch erhält. Sie befinden sich gemeiniglich in Kalkgebirgen und scheinen folgende Eigenschaften als Bedingungen dieser Eiskälte zu enthalten: 1. Eine hohe Lage, 2. Eine beträchtliche Abtiefnng im Innern des Gebirges. 3. Abwesenheit alles Luftzuges im Innern. 4. Schutz gegen warme und feuchte Winde; Oeffnung der Höhle nach Nord und Ost. Die erste dieser Bedingungen, die allen, mit Ausnahme der Höhle von Besançon, bisher bekannten Eisgrotten der gemäfsigten Zone gemein ist, giebt uns die Hauptursache der *Eisbildung* in diesen Höhlen an die Hand, nämlich eine geringe Erhebung der mittleren Jahreswärme über den Nullpunct. In Folge derselben wird in der kühleren Hälfte des Jahres mehr Eis gebildet als die wärmere Zeit zu schmelzen vermag, und die Frostkälte ist vorherrschend. Die zweite Bedingung hingegen ist zu *Erhaltung* des gebildeten Eises unerläfslich. Da nämlich warme Luftströme nur aufwärts steigen, die kalten sich herabsenken, so bleibt die kalte Luft, welche zur Winterszeit in die Höhle drang, immer in der Tiefe der Einsenkung, während dem die warmen Luftströme des Sommers nicht hinabsteigen können. *Die Eishöhle von Besançon*[1] hat eine Senkung von 31 Toisen vom Eingange bis zum Eise, das dort von einem Dache von 24 Toisen Dicke bedeckt ist. Cossigny fand daselbst im August und October 1743 das Thermometer im Grunde der Höhle nur ¼° R. über Null. Bei einem andern Besuche den 22. April 1745 war es am Morgen um 5 Uhr auf dem Eispuncte; um Mittag nur 1° über demselben. Die Eishöhle von *St. George*[2] 281 Toisen über dem Genfersee ist

1 De Lüc in den Ann. de Chim. XXI. 215. und Pictet in der Bibl. Univ. XX. 263.

2 Ebend. S. 121.

in ziemlich jähem Absturze[1] 25 Fuſs tief. Die Eismasse hatte, als Pictet am 7. Juli 1822 sie besuchte, 75 Fuſs Länge, bei einer mittleren Breite von 40 Fuſs; sie ist mit steilen Wänden umgeben, die auf eine merkliche Tiefe schlieſsen lassen. In der Mitte der Höhle, 2 Fuſs über dem Eise, stand das Thermometer auf + 1° R. In der Eishöhle auf dem Berge Vergi[2], 462 Toisen über dem Genfersee, ist die Einsenkung weniger tief, doch ist der Boden immer hinabwärts geneigt; die horizontale Eismasse hat 70 F. Breite und 30 Fuſs Länge. Am 17. Juli 1822 fand Pictet 1 Fuſs über dem Eise die Temperatur + 1°,2 R. Die Eisgrotte von *Fondeurle*[3] ist 200 Fuſs tief. Das sogenannte *Schafloch* am Rothhorn im Canton Bern[4], 3700 Fuſs über dem Thunersee ist ebenfalls ziemlich steil absteigend. Dufour fand im obern Theile desselben 1 Fuſs über dem Boden die Temperatur + 2¼° R. bei einer äuſsern Luftwärme von 18 bis 20°. In diesen Höhlen, deren Eingang meistens beträchtlich verengt ist, bemerkt man *keine Spur von Luftzug*[5]. Ihre Tiefe ist mit compactem Eise ausgefüllt; und nur am Eingange der weniger eingesenkten Höhle auf Vergi befand sich einmal etwa 2 Fuſs unterhalb desselben einiges Wasser, das aber 0° Temperatur hatte. Die Oeffnungen aller dieser Höhlen sind den kältesten und trockensten Winden ausgesetzt, indem sie in der Regel gegen Nord oder Ost ausgehen[6]. Daſs übrigens die Erkältung nur von atmosphärischen Einwirkungen, nicht von einer innern Kälte des Gebirges herrühre, erweist sich auch durch die Temperatur einer Quelle die nur auf Schuſsweite von der Grotte von St. George aus einer senkrechten Felswand herausspringt. Pictet fand sie + 8°,5 R. was der mittlern Wärme des Berges in jener Höhe entspricht. Pictet[7] leitet die Eisbildung in diesen Grotten von Luftströmen her, welche durch Verdunstung erkältet werden; und bringt diese Erscheinung mit den Kellern am Monte testaceo bei Rom, denen auf Ischia bei St. Marino, bei

---

1 Man steigt auf Leitern hinunter.

2 Pictet Bibl. Univ. XX. 272. Deluc a. a. O. S. 123.

3 Ebend. 125.

4 Ebend. XXI. 113.

5 Siehe das bestimmtere Zeugniſs von Colladon u. Pictet. Ann. de Ch. et Phys. XXI. 122. 124.

6 De Luc a. a. O. S. 120. u. Dufour a. a. O. S. 115.

7 Bibl. Univ. XX. 278.

Terni, bei Chiavenna, in Hergiswyl und bei Lugano in Verbindung, in welchen aus Löchern im Berge eine Luft herausströmt, deren Temperatur in den südlichern Italienischen Gegenden 5¼ bis 6° R., in denen von Lugano und Hergiswyl in der Schweiz 3 bis 4° R. ist[1]. Er findet es sogar wahrscheinlich, daſs die Eisbildung in den Eishöhlen im Sommer stärker sey als im Winter, weil in der wärmern Jahreszeit wegen der gröſsern Ungleichheit der Temperaturen jene Luftströme lebhafter seyen, und vergleicht ihr Auf- und Niedersteigen durch (vorausgesetzte) verticale Höhlungen und Spalten im Innern des Berges mit dem Luftstrome, der im Sommer im Schacht eines Bergwerkes niedergehend, und beim Stollen ausströmend ist, weil die kühlere Luftsäule im Schachte schwerer ist als die äuſsere, da hingegen im Winter das Umgekehrte statt findet. Diese verticalen Luftströme nun, indem sie durch die feuchten Spalten des Berges ziehen, werden durch die Verdunstung jener Feuchtigkeit so sehr erkältet, daſs sie nach Pictet im Innern des Berges sogar Eis erzeugen können. Allein Saussüre, welchem wir die sämmtlichen Beobachtungen über die Temperatur jener Bergkeller zu verdanken haben, hat durch Versuche gezeigt, daſs jene Verdunstungskälte nur etwa 3° R. betrage. Sie reicht daher gerade hin, um die Erniedrigung jener Luftströme unter die mittlere Wärme des Ortes zu erklären, aber nicht um Frostkälte hervorzubringen, oder gar jene 60° Wärme, deren Entfernung dem Gefrieren vorangehen muſs, zu absorbiren. Eigentliche kalte Luftströme, die aus Löchern aus dem Berge herauskommen, fand Pictet nur in der Nähe der Eisgrotte auf dem Brezon; jedoch nicht in der Höhle selbst. Pictet's Behauptung, daſs das Eis in diesen Höhlen mehr im Sommer als im Winter sich bilde, verdient allerdings, so paradox sie auch klingen mag, die Beobachtung der Naturforscher, da sie mit der allgemeinern Meinung der Landleute in der Umgegend übereinstimmt; wenigstens könnte dieses bei der einen oder andern Höhle der Fall seyn. Die Beobachtung einiger Bauern, welche die Eishöhle von Vergi gegen Ende Octobers, Novembers und Decembers besuchten, und des Eises immer weniger, im December sogar Wasser statt Eis fanden, scheint dieses zu bestätigen[2].

---

1 Saussüre Voy. dans les Alpes. T. II. §. 1404—1415.

2 Bibl. Univ. XXV. 243.

Doch dürfte es zu gewagt seyn, das Nämliche von allen diesen Grotten zu behaupten. Fortgesetzte Beobachtungen, selbst nur wie De-Luc anräth, Versuche an einer wohl eingerichteten künstlichen Eisgrube würden uns über diesen Gegenstand zu Aufschlüssen führen, die wir auf dem Wege der zufälligen Wahrnehmung nur langsam zu erhalten hoffen können.

4. Eisgruben; glacières artificielles; *Ice-house.*

Ein verschlossener Ort zur Aufbewahrung des Eises. Die Bedingungen, welche die Entstehung natürlicher Eisgruben begünstigen, sind auch gerade diejenigen, welche bei künstlichen Anlagen dieser Art in Acht genommen werden müssen. Eine erhöhete Lage, z. B. in einem Hügel, Trockenheit, Ausschliefsung alles Luftzuges, Vertiefung im Innern; verlängerter Zugang, Krümmung desselben und Verschliefsung durch zwei oder mehrere Thüren; Abzug für das Schmelzwasser, endlich Bekleidung des Bodens und der Wände mit schlechten Wärmeleitern, mit Stroh, Bast, Schilf. Man füllt diese Gruben des Winters mit Eis oder Schnee, den man in denselben feststampft. Sie dienen nicht nur zur Erhaltung eines schätzbaren Erfrischungsmittels, sondern sie sind auch zur Aufbewahrung von Speisen in der Haushaltung von wesentlichem Nutzen. Der Gebrauch, das Eis im Boden aufzubewahren, ist übrigens schon sehr alt.

o. Eisbildung bei einer äufsern Temperatur über Null.

Künstliche Eisbereitung. 1. Durch Ausstrahlung der Wärme.

Ein Beispiel dieser Art von Eisbereitung findet sich in dem Verfahren, welches in Bengalen, wo es sonst niemals friert, angewandt wird, um Eis zu erzeugen. Es haben zwar berühmte Physiker der neuesten Zeit Thomson, Young, Davy, Leslie u. m. jene Eisbildung einer Verdunstungskälte zugeschrieben, allein Wells[1] hat gezeigt, dafs sie von den nämlichen Ursachen abhänge, durch welche die Erscheinung des Thauens begünstigt wird. Das Verfahren selbst, so wie es von einem dortigen Eisfabricanten Sir Robert Barker[2], und später von Wil-

1 *Essay* on Dew. S. 261.
2 *Philos.* Trans. Nr. 65.

liams[1] beschrieben wurde, besteht kürzlich in Folgendem: Auf einem offenen, ebenen Felde von etwa vier Morgen Landes werden quadratische Plätze von 4 bis 5 Fuſs Seite, etwa 1 Fuſs tief ausgegraben und mit dürrem Zuckerrohre oder den Stengeln von Indischem Korn so hoch ausgefüllt, daſs nur ein kleiner Erdwall von etwa 4 Zoll Höhe übrig bleibt. Auf dieses Lager werden reihenweise kleine unglasirte irdene Becken, von ¼ Zoll Dicke und ¼ Zoll Tiefe hingelegt, und mit *gekochtem weichem* Wasser vollgefüllt[2]. Am frühen Morgen wird das Eis eingesammelt, und in die Eisgruben gebracht[3]. Die Beschreibung von Williams enthält noch folgende thermometrische Angaben. Am Morgen zwischen 5 und 6 Uhr zeigte ein, das Strohlager zwischen den Becken berührendes, Thermometer nie weniger als 35° F. (+ 1°, 3 R.) und es fand sich sogar Eis in den Becken, wenn es auf 42° F. (+ 4°,5 R.) stand. Ein anderes Thermometer 5½ Fuſs über dem Boden aufgehängt, war *gemeiniglich* 4° F. (1°,8 R.) höher, als dieses. Die Eisbildung ging also selbst dann noch vor sich, wenn die Temperatur der Luft + 6,2 R. betrug. Barker bemerkt, daſs die *hellsten und stillsten* Nächte diejenigen seyen, die am meisten Eis liefern, daſs hingegen Wolken und wechselnde Winde unverkennbare Vorzeichen einer geringen Eisproduction seyen; eben dieses bezeugt auch Williams, mit dem bestimmten Zusatze, daſs *Wind die Eisbildung gänzlich verhindere.* In diesem letztern Umstande liegt das sicherste Kennzeichen, daſs *Verdunstungskälte* hier nicht im Spiele sey, weil Luftzug das entscheidenste Beförderungsmittel der Verdunstung ist. Auch ist nach dem Obigen (litt. a.) eine kleine Bewegung des Wassers dem Gefrieren günstiger, als Ruhe; dennoch bildet sich bei stiller Luft das Eis eher, weil der Wind dem durch Ausstrahlung erkälteten Wasser die Wärme der umgebenden Luft zuführt. Dies Letztere soll auch durch die eingesenkte Lage jener Strohlager verhindert werden, da bekanntlich in vertieften kesselförmigen Plätzen Thau

1 Philos. Trans. Nr. 83.

2 Nach Barker; nach Williams mit *ungekochtem Pumpwasser*. S. oben unter *a*.

3 Die Ausdehnung solcher Anstalten läſst sich daraus beurtheilen, daſs nach Williams 300 Personen bei einer derselben angestellt waren.

und Reif stärker ansetzen, als an offenen Stellen. Ueberdem beträgt die Verdunstungskälte nach SAUSSÜRE bei 18° R. Wärme nur 3° R.[1], sie ist also lange nicht vermögend, eine Temperaturerniedrigung von 6° R. zu bewirken. Wohl aber vermag dieses die *Ausstrahlung*. WILSON fand in einer hellen und windstillen Nacht die Oberfläche des Schnees 16° F. (oder 7° R.) kälter als die Luft nur 2 Fuſs über demselben[2], und WELLS fand oft die Grasfläche um 12 bis 14° F. (5°, 4 .. 6°, 3 R.) kälter als die umgebende Luft. Diese Data mögen hier an die Stelle der noch mangelnden Versuche über die Wärmestrahlung des Wassers treten, die wir aus keiner Ursache geringer anzunehmen haben, als die des Schnees, oder des Rasens. Daſs bei der erwähnten Eisbildung keine Verdunstung, sondern im Gegentheil noch die durch Strahlung bewirkte Thauabsetzung statt finde, zeigt ein Versuch von WELLS, der in England in kühlen Nächten vom Mai und October die Operation der Indier nachahmte. Er setzte in einer hellen Nacht zwei Untertassen mit 2 Unzen Wasser jede, auf einem Lager von Stroh dem freien Himmel aus; am Morgen waren beide gefroren, und der eine Eiskuchen hatte 2½, der andere 3 Gran an Gewicht *gewonnen*. Das Gras war in jener Nacht 9½ F. (4° R.) und das Stroh 12° F. (5⅓° R.) kälter als die Luft. Auf dieser Erkältung durch Wärme-Ausstrahlung beruht auch vornehmlich die Erfahrung der Anwohner an Seen und Flüssen, daſs diese Gewässer auch bei groſser und anhaltender Kälte oft lange nicht gefrieren, sobald nur die Nächte *bewölkt* sind.

2. Eisbildung durch Verdunstung.

Daſs Verdunstung Kälte erzeuge, war zwar längst bekannt, und dieses Mittel wurde zur Abkühlung von Getränken durch Umwickelung der Gefäſse mit befeuchteten Lappen benutzt. Allein man war (aus Gründen, die so eben angeführt worden sind) nicht im Stande, durch Verdunstung ein wirkliches Gefrieren hervorzubringen. Dieses ist erst seit wenigen Jahren durch LESLIE in Edinburg[3] in solchem Maſse bewerkstelligt worden, daſs sein Verfahren hinreicht, mitten im Sommer Quecksilber zum Gefrieren zu

1 Voy. aux Alpes. T. II. S. 219. Nach Versuchen von WELLS bei 19° *R.* *ebenfalls* 6—7° F. (2°, 8 R.) und bei + 3°, 5 R. Wärme *nur noch* 0°, 7 R. On Dew. S. 268.

2 Essay on Dew. S. 269.

3 Ann. de Chim. 1811. G. Ann. XLIII. 373.

bringen. Das Ganze beruht auf der Benutzung zweier Mittel, eine schnelle und immer erneuerte Verdunstung der Flüssigkeit hervorzurufen. Diese sind: eine die Feuchtigkeit sehr anziehende *Substanz*, und *schnelle Verdünnung der Luft*. Die Erstere, indem sie die eben entwickelten Wasserdämpfe absorbirt, giebt neuen Entwickelungen Raum, und die Letztere beschleunigt die Dampfbildung durch Verminderung des Luftdruckes. Unter den verschiedenen Stoffen, welche die Feuchtigkeit absorbiren, giebt Leslie der *Schwefelsäure* den Vorzug. Sie wirkt nach ihm stärker, als der salzsaure Kalk, und ihre Kraft bleibt sich so ziemlich gleich, bis sie ein dem ihrigen gleiches Volumen Wasser in sich gesogen hat. Durch Auskochen läſst sie sich leicht wieder von dem aufgenommenen Wasser befreien. Das Verfahren ist folgendes: Man nimmt einen Recipienten mit tragbarem Teller, am besten von der Form einer Halbkugel; setzt unter diesen in einem breiten und flachen Gefäſse die concentrirte Säure; 2 oder 3 Zoll höher befindet sich auf Glasfüſsen eine Schale mit reinem, gekochtem Wasser. Nun wird rasch ausgepumpt, und nach einer etwa 100maligen Verdünnung beginnt unter Entwickelung zahlreicher Luftblasen das Gefrieren. Nachher reicht eine 10 bis 20fache Verdünnung hin, das Wasser gefroren zu erhalten. Das Eis verdunstet dann allmälig, während dem die Säure eine hohe Temperatur behält, so daſs ein Eisstück von 1 Zoll Dicke auf diese Art in 5 bis 6 Tagen verschwindet. Die Wirkung wird bedeutend verstärkt, wenn man die erste Glasglocke mit einer zweiten bedeckt, um den Einfluſs der äuſsern Wärme abzuhalten. Noch auffallender wird der Versuch, wenn man einen Recipienten nimmt, durch dessen Obertheil ein Stängelchen luftdicht geschoben werden kann. Man hält die Schale mit dem Wasser während des Auspumpens bedeckt, hebt dann plötzlich den Deckel auf, so daſs das Wasser mit dem verdünnten Luftraume in Berührung kommt. In wenigen Minuten sieht man die Eisnadeln sich bilden, und bald verwandelt sich das Ganze in eine feste Masse von sehr durchsichtigem Eise. Nimmt man Eis und kältende Mischungen zu Hülfe, so läſst sich selbst im Sommer das Quecksilber zum Gefrieren bringen. Leslie hat einen vollständigen Apparat angegeben, mit welchem unter mehrern Glasglocken, die auf einem mit Luftpumpe und Leitungsröhren versehenen Tische sich befinden, Eis gebildet werden

Fig. 19.

kann[1]. Nach Clement und Desormes[2] ist Leslie's Entdeckung von grofsem Nutzen zur schneller Austrocknung solcher Stoffe, welche keine Erhitzung vertragen, wie auch animalischer und vegetabilischer Substanzen, die man lange aufzubewahren wünscht.

Dafs auch eine *relative* Verdünnung, oder die Ausdehnung stark verdichteter Luft *Kälte* hervorbringe, ergiebt sich aus der Eisbildung, welche bei der Höll'schen Maschine im Schemnitz (einer Art *Herons Brunnen*) statt findet, wenn man den Hahn des untern Compressionsgefäfses öffnet. Die etwa bis aufs fünffache comprimirte Luft in diesem Kessel strömt dann mit grofsem Geräusche und Heftigkeit heraus, und wenn man vor die Oeffnung einen festen Körper hinhält, so setzen sich an demselben die condensirten Wasserdämpfe in Gestalt von weifsen und dichten Eiskörnern an; das Phänomen hat in allen Jahreszeiten statt; und die umgebende Temperatur der Grube ist 10 bis 12° R. Die Erscheinung erklärt sich sehr einfach dadurch, dafs die ausströmende Luft bei ihrer Verdichtung eines Theils ihrer Wärme beraubt worden ist, und nun, da der äufsere Druck aufhört, den zu ihrer Expansion erforderlichen Wärmestoff aus der umgebenden Luft oder einem dargehaltenen festen Körper an sich reifst, und so eine plötzliche locale Erkältung erzeugt, welche die mitgebrachten oder in der umgebenden Luft vorhandenen Wasserdämpfe verdichtet und gefrieren macht[3]. *H.*

Eisen.

Ferrum, Mars; fer; ***Iron.*** Die Natur liefert dieses nützlichste Metall reichlich theils im geschwefelten, theils im oxydirten Zustande, und im letzten Falle oft in Verbindung mit verschiedenen Säuren und andern Metalloxyden; aufserdem gediegen in Meteormassen. Man scheidet es aus den natürlichen Oxyden des Eisens durch heftiges Glühen mit Kohle, gewöhnlich in den Hoheisenöfen. Das so erhaltene *Gufseisen, Roheisen*, wird von den fremdartigen Stoffen durch das Eisenfrischen befreiet, bei welchem Procefs dieselben nebst einem Theile des

---

1 Supplement to the Encyclop. Britann. Art. Cold, Vol. III. part. I. S. 255. G. Ann. XLIII. 373.

2 G. Ann. XLIII. 378.

3 S Journ. de Phys. XLVIII. 166 u. G. Ann. XVIII. 412.

Eisens oxydirt, und so als Gas und Schlacke entfernt werden. Das so gereinigte Eisen, *Stab-* oder *Frischeisen*, hat ein specifisches Gewicht von 7,788, und ist ductil, jedoch härter und zusammenhängender, als alle andere Metalle. Es ist retractorischmagnetisch. Es erweicht sich in der Rothglühhitze, läſst sich in der Weiſsglühhitze schweiſsen und schmilzt erst bei einer noch höheren Temperatur.

Seine Verbindungen sind:

Das *Eisenoxydul* (28 Eisen auf 8 Sauerstoff) ist nicht für sich bekannt, sondern bloſs in Verbindung mit Wasser und Säuren. Das *Eisenoxydulhydrat* (durch Niederschlagung eines Eisenoxydulsalzes mit einem Alkali erhalten) ist weiſs, wird aber an der Luft durch Oxydation schnell grün, dann braun, die *Eisenoxydulsalze* sind meistens grünlich oder weiſs gefärbt, entziehen der Luft und vielen andern Körpern Sauerstoff, wodurch sie sich in Eisenoxydsalze verwandeln, und geben mit reinen und kohlensauren Alkalien und mit blausaurem Eisenoxydulkali einen *weiſsen*, mit blausaurem Eisenoxydkali einen *blauen*, mit hydrothionsaurem Alkali einen *schwarzen* Niederschlag. Die wichtigsten Eisenoxydulsalze sind: das *salzsaure Eisenoxydul*, erscheint in blaſsgrünen, leicht in Wasser und Weingeist löslichen, an der Luft zerflieſsenden Krystallen. *Schwefelsaures Eisenoxydul* oder *Eisenvitriol*, das bekannte blaſsgrüne, leicht im Wasser lösliche und leicht krystallisirende Salz, welches beim Auflösen von Eisen in verdünnter Schwefelsäure erhalten wird, und beim Erhitzen zuerst in entwässertes weiſses Salz übergeht, dann sich durch Anziehen von Sauerstoff aus der Luft in den rothen gebrannten Vitriol verwandelt. *Hydrothionsaures Eisenoxydul* bildet sich beim Vermengen von Eisenfeilicht mit Schwefel und Wasser, durch Zersetzung des Letztern, als eine schwarze Materie, welche aus der Luft begierig Sauerstoff anzieht, und dabei soviel Wärme entwickelt, daſs bei gröſseren Massen wirkliche Entzündung eintreten kann, worauf die Darstellung der künstlichen Vulcane nach Lemery beruht. Das *kohlensaure Eisenoxydul* kommt natürlich als *Eisenspath* vor; durch Ueberschuſs von Kohlensäure in Wasser gelöst bildet es die meisten Stahlwasser. Das *einfach-blausaure Eisenoxydul* ist eine gelbe, körnige, nicht im Wasser lösliche Materie, welche mit vielen andern blausauren Salzen zu Doppelsalzen verbindbar ist. Das

bekannteste von diesen Doppelsalzen ist das *blausaure Eisenoxydulkali* oder *Blutlaugensalz*, welches gelb und leicht im Wasser löslich ist, und mit der Auflösung der meisten schweren Metalloxyde in Säuren verschiedenartig gefärbte Niederschläge hervorbringt (aus diesem schweren Metalloxyd, aus Eisenoxydul und aus Blausäure bestehend) und deshalb als Reagens für viele Metalle gebraucht wird.

Das Eisenoxyd (28 Eisen auf 12 Sauerstoff) findet sich in eisenschwarzen spitzen Rhomboëdern krystallisirt als *Eisenglanz*, außerdem als *Rotheisenstein*, besitzt in Pulvergestalt eine braunrothe Farbe, und ist nicht magnetisch. Es bildet mit Wasser das *Eisenoxydhydrat*, das als *Brauneisenstein* natürlich vorkommt, sich beim Aussetzen des feuchten Eisens an die Luft als *Eisenrost* bildet und beim Glühen unter Wasserverlust in rothes Eisenoxyd verwandelt wird. Die *Eisenoxydsalze* sind meistens braun und roth gefärbt, schmecken zusammenziehender, als die Eisenoxydulsalze, werden durch verschiedene Substanzen, welche Sauerstoff aufzunehmen fähig sind, in Eisenoxydulsalze verwandelt, geben mit reinem und kohlensaurem Alkali gelbbraune Niederschläge, mit blausaurem Eisenoxydulkali einen blauen, mit Galläpfeltinctur einen blauschwarzen, mit Hydrothionsaurem Alkali einen schwarzen, und färben sich lebhaft roth mit Schwefelblausäure und mit Mohnsäure. Hierher gehören unter andern: das *salpetersaure* und das *salzsaure Eisenoxyd*, welche fast bloſs als gelbbraune Flüssigkeiten bekannt sind, das *basisch schwefelsaure Eisenoxyd*, welches aus der, der Luft dargebotenen Auflösung des Eisenvitriols als ein braunes Pulver niederfällt, und das *saure*, welches dabei zu einer braunen Flüssigkeit gelöst bleibt. Das *basischphosphorsaure Eisenoxyd*, welches als *Raseneisenstein* vorkommt.

Ein oder mehrere Oxyde, welche mehr Sauerstoff, als das Eisenoxydul, weniger als das Eisenoxyd enthalten, und als Verbindungen des Eisenoxydul's mit Eisenoxyd nach verschiedenen Verhältnissen betrachtet werden können, werden unter dem Namen des *Eisenoxyd-Oxyduls* zusammengefaſst. Dieses findet sich in der Natur als *Magneteisenstein*, bildet sich beim Verbrennen des Eisens an der Luft als *Hammerschlag* u. s. w. Es ist eisenschwarz, krystallisirt in regelmäſsigen Oktaëdern, und ist magnetisch, bald bloſs retractori ch

bald auch attractorisch. Mit Wasser bildet es ein schmutzig-grünes *Hydrat*, mit Säuren die *Eisenoxyd-oxydulsalze*. Diese sind häufig grün oder braun, geben mit Alkali einen schmutzig grünen Niederschlag, und zeigen übrigens theils die Reactionen der Eisenoxydule, theils die der Eisenoxydsalze. Das natürliche *Berlinerblau* ist *phosphorsaures*, das künstliche ist *blausaures* und das *Würfelerz* ist *arseniksaures Eisenoxyd-Oxydul*.

Das Chloreisen im Minimum (28 Eisen auf 36 Chlor) ist grauweiſs, und löst sich im Wasser zu salzsaurem Eisenoxydul auf. Das *Chloreisen im Maximum* (28 Eisen auf 54 Chlor) ist braun und verdampfbar, und liefert mit Wasser salzsaures Eisenoxyd. — Das *Schwefeleisen im Minimum* (28 Eisen auf 16 Schwefel) kömmt ziemlich rein als *Magnetkies* vor und wird künstlich durch Erhitzen von Schwefel mit Eisen dargestellt. Es ist bräunlichgelb, metallglänzend und mcgnetisch, und löst sich in wässerigen Säuren, unter Entwickelung von Hydrothionsäure auf. Das *Schwefeleisen im Maximum* (28 Eisen auf 32 Schwefel) findet sich als *Schwefelkies* und *Wasserkies* und läſst sich nicht künstlich erhalten. Es ist gelb, verliert beim Glühen in verschlossenen Gefäſsen die Hälfte des Schwefels, und entwickelt mit Säuren keine Hydrothionsäure. — Das *Phosphoreisen* ist grauweiſs, metallglänzend und spröde; es findet sich in manchem Eisen und macht es kaltbrüchig.

Zum *Kohlenstoffeisen* ist vorzügiich der Stahl, das Guſseisen und der Graphit zu zählen, von denen der Stahl am wenigsten, der Graphit am meisten Kohlenstoff enthält. Den *Stahl* bereitet man theils, indem man dem Guſseisen durch Schmelzen an der Luft bloſs einen Theil seines Kohlenstoffs entzieht, durch welches *Stahlfrischen* der *Frischstahl* oder natürliche Stahl erhalten wird; theils indem man Stangen von Stabeisen, mit Kohlenpulver geschichtet mehrere Tage im Glühen erhält, wobei der Kohlenstoff allmälig das Eisen durchdringt, uud dasselbe in *Cementirstahl* oder *Brennstahl* umwandelt. Wird ein solcher Stahl unter einer Decke von grünem Glaspulver geschmolzen, so erhält man den *Guſsstahl*. Der Stahl ist eine Verbindung von Eisen mit ungefähr 0,01 Kohlenstoff. Mancher Stahl hält auſserdem einige andere Metalle in

sehr kleiner Menge beigemischt, die zum Theil seine Härte vermehren. So verdankt der indische Stahl oder *Wootz* seine Härte und Damascirung der Beimischung von etwas Alumium und zum Theil auch Silicium; auch der Zusatz von Chrom, Silber, Platin u. s. w. zum Stahl in ganz kleinen Mengen ertheilt ihm theils gröſsere Härte, theils andere gute Eigenschaften. Stahl, bis zum Glühen erhitzt und langsam abgekühlt, ist fast so weich wie Eisen, rasch abgekühlt, *gehärtet*, ist er sehr hart und spröde, und zeigt einen feinkörnigen Bruch. Wird er dann wieder gelind erwärmt, *angelassen*, so verliert er um so mehr von seiner Härte und Sprödigkeit, einer je höheren Temperatur er ausgesetzt wurde. Diese wird durch die Farben bestimmt, mit welchen der Stahl anläuft; bei schwacher Erhitzung färbt er sich hellgelb, dann dunkelgelb, dann kermesinroth, dann hellviolett, dann dunkelblau; bei noch stärkerem Erhitzen würde er grau und matt werden. Diese verschiedenen Farben, die sich auch bei der allmäligen Oxydation anderer Metalle, wie des Kupfers u. s. w. an der Luft in derselben Ordnung einstellen, rühren ohne Zweifel nicht von verschieden gefärbten Oxyden her, sondern von verschieden dicken Lagen desselben Oxyds (beim Stahl vom Eisenoxyd-Oxydul) welche, so lange sie sehr dünn sind, das Licht noch bis auf die Oberfläche des blanken Metalles dringen lassen, aber, je nach ihrer Dicke, eine verschiedene Färbung des von da aus reflectirten Lichtes zu Wege bringen, welche aber bei gröſserer Dicke undurchgänglich für das Licht werden, und dann ihre eigene glanzlose Farbe zeigen. Der Stahl ist ein wenig dichter und schmelzbarer, als das reine Eisen, läſst sich nicht so gut schweiſsen, nimmt den Magnetismus in gehärtetem Zustande schwieriger an, hält ihn aber viel fester, rostet nicht so leicht und läſst bei der Auflösung in Säuren Graphit in Gestalt eines schwarzen Pulvers zurück, daher Salpetersäure auf Stahl einen schwarzen Flecken macht.

Das *Guſseisen* enthält auſser 0,02 bis 0,04 Kohlenstoff häufig Phosphor, Schwefel und verschiedene Erdmetalle und schwere Metalle. Je nach dem Verhältniſs dieser Stoffe zeigt es verschiedene Eigenschaften. Man unterscheidet vorzüglich weiſses, graues und schwarzes, von dem das weiſse am wenigsten, das schwarze am meisten Kohlenstoff enthält. Das weiſse ist sehr hart und spröde, das schwarze ist von Graphitblättchen durchzogen, und das graue ist wegen seiner Weichheit und

seines Zusammenhalts zu den meisten technischen Zwecken am geeignetsten. Das Gufseisen rostet nicht so leicht und ist schmelzbarer als Eisen und Stahl, läfst sich nicht schweifsen, und ist in der Glühhitze so weich, dafs man es zersägen kann.

Der *Graphit* oder das *Reifsblei*, welcher sowohl natürlich vorkommt, als bei der Bereitung des Gufseisens sich erzeugt, enthält 0,90 bis 0,96 Kohlenstoff, ist weich und abfärbend, nicht magnetisch, fast unschmelzbar, nicht in Säuren löslich, und verbrennt nur sehr schwierig. *G.*

Ekcentricität.

Eccentricitas; eccentricité; *eccentricity*. Die Ekcentricität der Ellipse oder Hyperpel ist der Abstand des Brennpunctes von Mittelpuncte. Wenn C den Mittelpunct der Ellipse, S ihren Brennpunct, CA die halbe grofse Axe vorstellt, so ist CS die wahre Gröfse der Ekcentricität, oder wenn man sie sogleich mit der halben grofsen Axe vergleicht, $\frac{CS}{CA} = e$, die Ekcentricität, für die = 1 gesetzte halbe Axe. Im letzten Sinne ist sie bei der Ellipse immer ein ächter Bruch, und so pflegt man sie bei den Planetenbahnen in Vergleichung gegen die als Einheit betrachtete halbe grofse Axe anzuführen. In der Hyperbel hingegen ist der Brennpunct S weiter als der Scheitel A vom Mittelpuncte C entfernt, und daher $\frac{CS}{CA}$ gröfser als 1. Hieraus erhellt, was bei den elliptischen Planeten- und Kometenbahnen die Ekcentricität ist, und da sich nach den neuesten Berechnungen Kometen finden, deren Bahn hyperbolisch zu seyn scheint, so kommen in den Verzeichnissen der Kometenbahnen auch solche vor, deren Ekcentricität > 1 ist.

Fig. 13. Fig. 14.

Wenn die grofse Axe der Bahn = a, die kleine = b ist, so hat man $b = a. \sqrt{(1 - e^2)}$ für die Ellipse; die Hyperbel hat keine zweite begrenzte Axe.

Da die Erde und die Planeten, auch die meisten Kometen in Ellipsen laufen, in deren einem Brennpuncte die Sonne steht, so ist für ihre Bahnen die Ekcentricität der Abstand der Sonne vom Mittelpuncte. Der Abstand in der Sonnennähe

ist daher = a (1 — e) = der halben Axe weniger der Ekcentricität; der Abstand in der Sonnenferne = a (1 + e) = der halben Axe addirt zur Ekcentricität.

Die Alten sahen die Sonnenbahn, worin nach ihrer Meinung die Sonne sich um die Erde bewegen sollte, als einen Kreis an; aber die ungleiche scheinbare Bewegung der Sonne veranlafste auch sie, die Erde nicht in den Mittelpunct zu setzen, sondern ihr eine Ekcentricität beizulegen.

Die Gröfse der Ekcentricität für die einzelnen Planetenbahnen ist in den Artikeln angegeben, wo von den einzelnen Planeten die Rede ist. Andere sie betreffende Betrachtungen, oder die Mittel, die Gestalt der Bahn, folglich auch die Ekcentricität zu finden, s. im Art. *Bahn der Planeten*. *B.*

Ekliptik.

Ecliptica, orbita solis annua; Ecliptique; *Ecliptic;* (ἐκλειπτικὴ scil. γραμμή; von ἔκλειψις, Finsternifs); ist derjenige gröfste Kreis am Himmel, den der Mittelpunct der Sonne bei seiner jährlichen Bewegung unter den Sternen scheinbar durchläuft. Er heifst bei den griechischen Astronomen der schiefe Kreis (λόξος κύκλος) weil er eine schiefe Lage gegen den Aequator hat.

Selbst oberflächliche Beobachtung mufste schon früh die eigene Bewegung der Sonne wahrnehmen lassen. Denn nicht blofs bemerkte man, dafs die Sonne nicht alle Tage gleich hoch über den Horizont herauf kommt, sondern wenn man auf die kurz nach ihrem Untergange in der Gegend, wo sie untergegangen war, sichtbar werdenden Sterne achtete, so mufste man bald gewahr werden, dafs sie eine eigne Bewegung von Westen nach Osten unter den Sternen habe. Waren die Sterne ziemlich genau nach ihrer wahren Lage auf einer künstlichen Himmelskugel aufgezeichnet, so konnte schon diese Beobachtung ungefähr dienen, um den Weg der Sonne unter den Sternen aufzufinden, und da man im Frühling und Herbst die Sonne bei Sternen im Aequator fand und bemerkte, dafs sie um diese Zeit einen eben solchen Bogen oberhalb des Horizontes beschrieb, wie die Sterne im Aequator, statt dafs sie im Sommer $23\frac{1}{2}$ Gr. höher und im Winter $23\frac{1}{2}$ Gr. tiefer bei ihren Culminationen stand, so mufste man leicht schliefsen, dafs die Son-

nenbahn, schief geneigt gegen den Aequator, diesen in zwei einander gegenüber liegenden Puncten schneidet, und sich mitten zwischen diesen Puncten 23 bis 24 Grade vom Aequator entfernt.

Durch solche Beobachtungen waren schon die Alten im Stande, die Ekliptik sehr gut aufzuzeichnen und zu bemerken, daſs die Finsternisse des Mondes eintreten, wenn der Mond sich in der Ekliptik befindet. Die Alten bedienten sich zu den Beobachtungen, worauf sie solche Bestimmungen gründeten, der Ringkugel; unsere Beobachtungen am Meridiankreise geben uns viel genauere Mittel um zu bestimmen, ob die Ekliptik ein gröſster Kreis sey, und welche Lage gegen den Aequator sie habe.

Denken wir uns nämlich die Polhöhe des Ortes als völlig genau bekannt, und den Meridiankreis vollkommen genau aufgestellt, so läſst sich 1. die Zeit und der Ort des Aequinoctii, 2. die Zeit und der Ort des Solstitii, und 3. auch für jeden andern Mittag die Lage der Sonne finden und folglich giebt die Beobachtung an, ob ihr wahres Fortrücken dem Fortgehen auf dem durch jene Angaben festgesetzten gröſsten Kreise gemäſs ist. Um das Aequinoctium zu finden, muſs man gegen die Zeit, wo die Sonne durch den Aequator geht, ihre Mittagshöhe mehrere Tage hinter einander beobachten; findet man nun zwei auf einander folgende Tage, wo sie am einen die Höhe = Höhe des Aequators — u, und am andern die Höhe = Höhe des Aequators + v hatte, so ist sehr nahe die Zeit des Aequinoctii um $\frac{u}{u+v} \times 1$ Tag nach der ersten dieser beiden Beobachtungen. Und wenn man den Durchgang der Sonne durch den Meridian an beiden Tagen mit dem Durchgange eines bekannten Sternes verglich, so kann man nach eben dem Verhältniſs den Abstand des Aequinoctialpunctes von jenem Sterne in Rectascension zwischen den Rectascensions-Unterschieden der Sonne und jenes Sternes, so wie sie sich an jenen Tagen fanden, einschalten. Um die gröſste Entfernung der Sonne vom Aequator zu finden, dienen zwar die beobachteten gröſsten und kleinsten Mittagshöhen der Sonne um die Zeit der Solstitien, da es sich aber sehr selten trifft, daſs das Solstitium genau auf einen Mittag an dem Beobachtungsorte fiele, so würden diese Beobach-

tungen allein jene Abweichung meistens etwas zu klein geben; es erhellet aber leicht, daſs man aus mehreren um das Solstitium angestellten Beobachtungen, indem man durch die vermittelst derselben, bestimmten Puncte einen gröſsten Kreis legt, finden kann, welche in die Zwischenzeiten der Beobachtung fallende gröſste Declination die Sonne erreicht habe. Hat man durch diese Beobachtungen die Lage des gröſsten Kreises bestimmt, worauf sich die Sonne bei den Aequinoctien und Solstitien befindet, so ergiebt jede tägliche Beobachtung, wenn sie von Refraction, Parallaxe und allen Fehlern des Instrumentes u. s. w. befreit ist, eine Bestätigung der Behauptung, daſs die Sonne immer sich auf jenem gröſsten Kreise befindet. — Die Abweichungen, welche wegen der Perturbation statt finden, können wir hier als völlig unbedeutend unerwähnt lassen.

Da man aber bei Untersuchungen von dieser Wichtigkeit die Bestimmungen unabhängig von der Polhöhe des Ortes, deren absolut genaue Bestimmung höchst schwierig ist, zu erhalten wünscht, so verdient die Methode, die man zu diesem Zwecke anwendet, hier noch erwähnt zu werden. Die Neigung der Ekliptik gegen den Aequator oder die *Schiefe der Ekliptik* findet man unabhängig von der Polhöhe, wenn man in beiden Solstitien die der gröſsten Declination entsprechende Mittagshöhe gehörig bestimmt. Diese Bestimmung setzt eine genaue Kenntniſs der der Refraction voraus, indem die wahre Mittagshöhe bei den hohen Ständen der Sonne im Sommer eine ganz andere Correction als bei den sehr kleinen Höhen im Winter erfordert; ist diese aber genau bekannt, und nimmt man darauf Rücksicht, daſs eine sehr kleine wechselnde Aenderung wegen der Nutation statt findet, so giebt der Unterschied der richtig hergeleiteten gröſsten und kleinsten Mittagshöhe halbirt die Schiefe der Ekliptik.

Der Ort des Aequinoctii wäre bekannt, wenn man die von diesem Puncte an gerechnete Rectascension irgend eines Sternes ganz genau kennte. Man findet nun leicht den Unterschied der Rectascension der Sonne und des Sterns an einem bestimmten Tage, aber da die Rectascension der Sonne unrichtig bestimmt wird, wenn Polhöhe und Schiefe der Ekliptik unrichtig angenommen seyn sollten, so muſs man mit jeder kurz nach dem Frühlings-Aequinoctio angestellten Beobachtung eine eben so lange vor dem Herbst-Aequinoctio angestellte Beobachtung verbinden. Der Fehler nämlich, den man bei der Berechnung der Rectascen-

sion der Sonne begeht, indem man diese aus der beobachteten Mittagshöhe mit einer etwas fehlerhaften Polhöhe und Schiefe herleitet, giebt im einen Falle die Rectascension eben so viel zu grofs, als im andern zu klein, und zwei bei gleichen Mittagshöhen im Frühling und Herbst angestellte Beobachtungen geben verbunden also eine richtige Rectascension des Sterns. Die Correction wegen der Refraction und wegen Fehler des Instruments mufs freilich genau seyn, und man mufs sich nicht auf zwei solche combinirte Beobachtungen allein verlassen, sondern aus zahlreichen Paaren solcher Beobachtungen ein sicheres Resultat herleiten[1].

Die Ekliptik behält nicht immer einerlei Lage gegen den Aequator, aber diese Aenderungen hängen fast ganz allein von der veränderten Stellung der Erde oder der veränderten Lage des Aequators ab; die Artikel *Vorrückung der Nachtgleichen* und *Schiefe der Ekliptik* geben dieses näher an.

Die Ekliptik wird zwar wie jeder Kreis in 360 Grade getheilt; aber bei ihr kommt noch die besondere Eintheilung in 12 Zeichen vor, daher zum Beispiel die Länge der Sonne an irgend einem Tage durch Zeichen, Grade, Minuten, Secunden angegeben wird. Jedes Zeichen enthält 30 Grade, und das erste Zeichen geht vom Frühlings-Nachtgleichenpuncte bis zu 30 Gr. Länge. Die Himmelszeichen haben zugleich ihre Namen und die sie andeutende Bezeichnung von den Gestirnen, die im Thierkreise, d. i. dem Streifen, der die Ekliptik am Himmel umgiebt, stehen; sie sind folgende:

♈ *Widder*, in dessen Anfang sich die Sonne am 21. März befindet,

♉ *Stier*, in welchen die Sonne am 20. April tritt.

♊ *Zwillinge*, 21. Mai,

♋ *Krebs*, 21. Juni,

♌ *Löwe*, 22. Juli,

♍ *Jungfrau*, 23. August,

♎ *Waag* 23. September,

♏ *Scorpion*, 23. October,

♐ *Schütze*, 22. November,

♑ *Steinbock*, 21. December,

♒ *Wassermann*, 20. Januar,

♓ *Fische*, 18. Februar.

---

1 Bessel fundamenta astronomiae Cap. II.

Der Nullpunct des Widders ist der Punct der Frühlings-Nachtgleiche, der Nullpunct der Waage der Punct der Herbst-Nachtgleiche; die Sonne hat ihre gröfste nördliche Declination erreicht, wenn sie in 0° des Krebses, und ihre gröfste südliche Declination, wenn sie in 0° des Steinbocks ist.

Dafs diese Theile der Ekliptik nicht mehr den Sternbildern entsprechen, von denen sie ihre Namen haben, und dafs daher der Ausdruck: die *Sonne tritt in den Widder*, — nicht mehr heifst, sie fängt nun an durch das Sternbild des Widders zu gehen, wird durch die *Präcession der Nachtgleichen* bewirkt, und soll dort näher erklärt werden.

Die Ebene der Ekliptik ist die Ebene, worin die Erde ihre wahre Bewegung um die Sonne vollendet, und ihre Lage ist durch jene Bestimmung der scheinbaren Sonnenbahn bestimmt. Die Lage dieser Ebene ist zwar nicht ganz unveränderlich, aber ändert sich doch ungemein wenig, und daher dient sie zur Grundlage für alle auf lange Zeiten hinaus gehende Bestimmungen. Eigentlich sollte man freilich alle Angaben auf die völlig unveränderliche Ebene beziehen, welche Laplace aus der Lage aller Planetenbahnen und aus der Kenntnifs der Masse aller Planeten herleiten lehrt[1]. *B.*

Elasticität.

Federkraft, Schnellkraft, Spannkraft, Springkraft; *Elasticitas, Elater, Contentio, Palintonia*; Elasticité, Ressort; *Elasticity, Elastic force.* [von ἐλαστής, ἐλατής, ἐλατήρ (ἐλάω) der bewegt, treibt].

Man bezeichnet hiermit diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie, wenn sie ganz oder an einem Theile zusammengedrückt, zusammengebogen oder theilweise um eine ihrer Axen gedrehet wurden, wie auch im entgegengesetzten Falle, wenn man sie durch irgend eine Gewalt in einen gröfseren Raum ausdehnte, ausspannte, nach dem Aufhören der diese Veränderungen bewirkenden Ursachen ihre vorige Gestalt wieder annehmen. Die erstere jener genannten Erscheinungen zeigt sich bei allen Körpern, sowohl den festen als auch den flüssigen, und zwar nicht blofs der tropfbar flüssigen, sondern auch

1 Exposit. du système du monde Livre IV. Chap. 3.

den expansibelen oder elastisch flüssigen, die letzteren dagegen werden allgemein bei festen Körpern beobachtet, bei tropfbaren zwar nicht durch Erfahrung gefunden, allein es läfst sich nach der Analogie mit Grunde schliefsen, dafs auch diese sich in ihren früheren Raum wieder zusammenziehen würden, wenn man sie durch irgend eine mechanische Gewalt (aufser dem Einflusse der Wärme) in einen gröfseren Raum auszudehnen vermöchte; den luftförmigen Körpern aber, also den Gasarten und Dämpfen, kommt die Eigenschaft, sich nach aufhörender äufserer, mechanisch wirkender, ausdehnender Kraft in ihren vorigen Raum wieder zusammen zu ziehen, überall nicht zu, indem sie vielmehr allezeit einer äufseren zusammendrückenden Kraft entgegen sich auszudehnen, sich zu expandiren streben. Indem es aber zum Wesen der Elasticität gehört, dafs ein Körper, welchem diese Eigenschaft zukommt, allezeit das Bestreben äufsere, sein durch den Einflufs der Wärme bedingtes Volumen beizubehalten, folglich seinen früheren Raum wieder einzunehmen, mag derselbe durch äufsere mechanische Gewalt verkleinert oder vergröfsert seyn, so können die gasförmigen Körper nicht füglich *elastisch* genannt werden[1]. Man hat dieses lange gefühlt, und sich daher durch die Benennungen der *absoluten*, *specifischen*, *permanenten* Elasticität u. s. w. zu helfen gesucht; es scheint mir indefs der Sache am meisten angemessen zu seyn, den angegebenen Begriff der Elasticität festzuhalten, und diesemnach die festen und tropfbar flüssigen Körper *elastisch*, die gasförmigen aber nach Gren[2], Gehler[3], J. T. Maier[4], de Luc u. a. *expansibel* zu nennen, jenen also *Elasticität*, diesen dagegen *Expansibilität* als bezeichnende Eigenschaft beizulegen[5]. Diesem nach wird also blofs von der Elasticität der

1 Der Ableitung nach liefse sich die Bedeutung des Wortes auch auf gasförmige Körper ausdehnen. Die individuelle Elasticität der festen und wahrscheinlich auch der tropfbar flüssigen Körper ist aber den gasförmigen nicht vollständig eigen.

2 Grundrifs d. Nat. S. 260.

3 Th. V. S. 244.

4 Anfangsgründe d. Nat. §. 90, 97, 98.

5 Gren a. a. O. S. 79. will diejenigen Erscheinungen, welche zur Elasticität gerechnet werden, trennen, und die einen mit Elasticität, die andern mit Contractilität bezeichnen, eine Unterscheidung, welche auf seiner nicht ganz richtigen Theorie der Elasticität be-

festen und tropfbar flüssigen Körper die Rede seyn, die Expansibilität aber, welche den gasförmigen Körpern zukommt, am gehörigen Orte gleichfalls untersucht werden.

I. Allgemeine Betrachtungen.

Einige der gemeinsten Erscheinungen, welche aus der Elasticität der Körper folgen, zeigen sich beim Federharze, einer elfenbeinernen, marmornen, gläsernen oder achatenen Kugel, einer Darmsaite oder Metallsaite u. dgl. m. Wird ein Stück Cautchouc, wegen seiner vorzüglichen Elasticität auch Federharz genannt, zusammengedrückt, oder in einen längeren Streifen ausgezogen, so zieht es sich bei nachlassender Gewalt wieder in seine frühere Form zurück. Am interessantesten in dieser Hinsicht, und das Wesen der Elasticität am deutlichsten zeigend ist eine elfenbeinerne Kugel. Alle solche elastische Kugeln von Elfenbein, Glas, Achat, Marmor, Stahl, Krystall, Bernstein, gepolsterte Bälle u. dgl. werden mit großer Kraft zurückgestoßen, wenn sie auf irgend eine harte oder elastische Fläche fallen. Um die nächste Ursache, wodurch dieses geschieht, und den dabei statt findenden Proceß anschaulich zu machen nimmt man eine geschliffene Marmorplatte oder eine dicke Glasplatte von möglichst ebener Fläche und überzieht sie mit einer dünnen Lage Kienruß, indem man sie über der Flamme eines Stückchens Kienholz oder eines mit Terpentinöl getränkten Ballens Baumwolle, an einem kleinen Stäbchen befestigt, schwärzt. Der hierdurch entstandene Ueberzug hat eine geringe Dicke, und indem eine elfenbeinerne Kugel die ebene Fläche eigentlich nur in einem geometrischen Puncte berühren kann, so wird dieselbe bei einer so leisen Berührung, daß man diese kaum durch das Gehör vernimmt, nur an einem kleinen Puncte,

---

ruhet. Die nachfolgenden Untersuchungen werden zeigen, daß eine solche Unterscheidung unnöthig ist. Das Wort: expansibel, von *expandere*, ausdehnen, ausbreiten, drückt zwar, genau genommen die Fähigkeit aus, durch irgend eine Ursache ausgedehnt, ausgespannt zu werden, also ausdehnsam, nicht aber das innere Bestreben nach Ausspannung, Ausbreitung, welches doch den gasförmigen Körpern eigen ist; allein es ist auf allen Fall eben so bezeichnend als das Wort elastisch, und verdient um so mehr aufgenommen und beibehalten zu werden, als es in der englischen und französischen Sprache bereits allgemein gebräuchlich ist.

der Dicke des färbenden Ueberzuges proportional, schwarz gefärbt seyn. Läfst man darnach die Kugel aus einer Höhe von 3 bis 6 Fufs auf die Platte fallen und fängt sie beim Aufspringen wieder auf, so wird sie einen runden gefärbten Fleck von 2 bis 3 Lin. Durchmesser zeigen, dessen Gröfse die Berührungsfläche beider Körper angiebt, und woraus hervorgeht, dafs eine gewisse Menge Theile der Kugel zurückgedrückt seyn mufsten, deren Zurückspringen an ihren früheren Ort die Kugel in die Höhe trieb. Hierin zeigt sich also das eigentliche Wesen der Elasticität sichtbar, indem allezeit Theile der Körper zusammengedrückt werden, und mit einer der Zusammendrückung proportionalen Kraft ihren früheren Ort wieder einzunehmen streben.

So wie hierbei eine Verminderung des Volumens statt fand, geben ausgespannte Saiten, sowohl von Metall als auch aus Schafdärmen, Streifen Leders, vegetabilische Stränge, selbst Haare, Spinnfäden, Seidencoconfäden u. dgl. vielmehr eine scheinbare oder wirkliche Vermehrung ihres Volumens, wenn sie der Länge nach ausgedehnt werden; und bei nachlassender Gewalt sich wieder zusammenziehen. Beides aber, sowohl Zusammenziehung als auch Ausdehnung zugleich zeigt sich, wenn man einen elastischen Stab von Metall, Glas, Elfenbein oder Holz u. s. w., eine Stahlfeder, einen Streifen Fischbein u. dgl. aus der geraden Richtung krumm biegt, und der Körper bei nachlassender Gewalt vermöge seiner Elasticität wieder gerade wird. Bezeichnen nämlich a b c d die körperlichen Grenzen des geraden Stabes, beide parallel und gleich lang, und man biegt denselben krumm, so werden die Bogen a α b und c β d parallel bleiben, ersterer ist offenbar länger als letzterer, die Theilchen müssen daher in beiden der halben Differenz ihrer Länge proportional zusammengedrückt und ausgedehnt seyn. Es läfst sich also bei festen Körpern ihre Elasticität sowohl rücksichtlich der Ausdehnung als auch der Zusammendrückung der einzelnen Theile derselben anschaulich nachweisen[1].

Fig. 20.

Eine eigene Art der Elasticität zeigt sich bei denjenigen Körpern, welche als Cylinder von weit gröfserer Länge als ihr Durchmesser ist, z. B. Stäbe, Drähte, Saiten u. dgl. durch sich selbst steif oder durch irgend eine Kraft gespannt, um ihre

1 Vergl. Leslie Elements of Natural Philos. Edinb. 1823. I. 25.

Längenaxe gedrehet werden. Hierbei winden sich einige Theile über die andern, einige werden einander näher gebracht, andere weiter von einander entfernt; es findet also eine partielle Verdichtung und Verdünnung statt, und indem die Theile bei aufhörender Einwirkung der drehenden Kraft ihre vorigen Stellen wieder einnehmen, entstehen drehende Oscillationen um ihre Längenaxe. Etwas diesem ähnliches findet auch bei gedreheten Körpern statt, z. B. bei Seilen, Darmsaiten u. dgl. Im Allgemeinen werden alle Körper durch solche Drehungen verkürzt, am meisten aber findet dieses bei Seilen und Stricken statt, oder bei einzelnen neben einander herabgehenden Fäden, bei denen das Umwinden der einen um die andern auffallend sichtbar wird; indeſs werden Metallsaiten durch solche Drehungen verkürzt, und selbst die Spinnefäden[1].

Man darf annehmen, daſs alle Körper elastisch sind, aber in einem sehr ungleichen Grade, und in sofern unterscheidet man die elastischen von den nicht elastischen. Zu den *elastischen* gehören unter den Metallen vorzugsweise der Stahl bei einem gewissen Grade der Härtung, das Platin, Kupfer, Silber, zu den *unelastischen* das Gold und Blei; überhaupt aber wird diesen Körpern eine gröſsere oder geringere Elastcität durch gewisse eigenthümliche Behandlungen mitgetheilt, als dem Stahle und in weit geringerem Grade auch dem Eisen durch das Federhartmachen, dem Silber, Platin, Kupfer, Zink, Nickel, in einem geringen Grade dem Zinn und Molybdän durch Hämmern, Walzen und Ausziehen zu Drahte, das Gold und Blei [2] sind so biegsam, daſs man sie, insbesondere das letztere, völlig unelastisch zu nennen geneigt seyn könnte, und die übrigen sind meistens so spröde, daſs ihre Elasticität nur schwer beobachtet wird. Keine andere Arten von Körpern gehen durch verschiedenartige Behandlung und durch Verbindung mit einander so sehr in die verschiedenen genannten Zustände über, als die Metalle. So ist Eisen mit viel Kohlenstoff als *Guſseisen* zum Theil sehr spröde [3], mit weniger Kohlenstoff als *Stahl* nach

1 S. Th. II. S. 598.

2 Das Blei wird nach den Versuchen von Guyton de Morveau weder durch Hämmern noch durch Pressen und Drahtziehen dichter, sondern nur unbedeutend in Verhältniſs von 11,358 : 11,388 durch starkes Pressen in einer genau schlieſsenden Form. S. Ann. de Chim. LXXI. 196.

3 Vergl. *Dehnbarkeit* Th. II. S. 506.

Umständen sehr spröde oder höchst elastisch, im reinen Zustande sehr weich; Kupfer an sich und mit Zink verbunden biegsam, durch Hämmern sehr elastisch, mit Zinn verbunden aber spröde; Zink im gewöhnlichen Zustande sehr spröde, bei einer Temperatur zwischen 100° und 150° C. gewalzt aber ziemlich elastisch; Gold und auch Silber werden durch Zusatz von Kupfer härter und fähiger zum Elastischwerden. Die Erden, und unter ihnen hauptsächlich die Kieselerde, verbinden mit dem Zustande der Härte meistens einen hohen Grad der Elasticität. Unter den thierischen Stoffen sind das Fischbein, die Gräten, das Elfenbein, Schildpatt, Perlmutter, Horn, die Federn, Nägel, Haare u. s. w. vorzugsweise elastisch, die Vegetabilien aber zeigen im Durchschnitte sämmtlich einen hohen Grad der Elasticität, und indem den Flüssigkeiten, folglich auch den durch diese erweichten Körpern, ein hoher Grad der Elasticität nicht abzusprechen ist, so darf man mit Recht alle Körper für mehr oder weniger elastisch halten, und die Frage könnte bloſs seyn, ob sich dieses auch auf die genannten sehr weichen Metalle und einige andere Körper ausdehnen lieſse. Man hat als Beweis angeführt, daſs alle Körper den Schall leiten, und folglich elastisch seyn müssen. Ob aber die Fortpflanzung des Schalles bei einem Körper diejenige Elasticität beweise, wovon nach der oben aufgestellten Definition hier die Rede ist, bleibt so lange fraglich, als wir die eigenthümlichen Schallwellen, welche zur Fortleitung des Schalles erfordert werden, nicht genau kennen. Indeſs ist das Blei und das Gold den Beobachtungen nach doch etwas elastisch, und da eben diese Metalle, so wie andere weiche Körper, durch groſse mechanische Gewalt nur wenig oder gar nicht zusammendrückbar sind, selbst auch das noch glühende, also sehr weiche Glas, nach den Versuchen des Grafen Bucquoi nicht meſsbar zusammengedrückt werden kann, so müssen wir sie allerdings für elastisch halten; weil wir sie sonst gegen alle Wahrscheinlichkeit für absolut hart halten müſsten [1]. Diese Eigenschaft ist daher als eine *allgemeine aller Körper* anzusehen. Dabei ist indeſs zugleich wohl zu berücksichtigen, daſs die Tiefe, bis zu welcher ein Körper zusammengedrückt werden kann, oder die Raumverminderung, welche er dabei erleidet, nicht als das Maſs seiner Elasticität gelten darf. Eine

1 G. XLIII. 98.

Kugel von gehärtetem Stahle, von Glas oder Achat ist insbesondere durch gleiche Kräfte bei weitem weniger zusammendrückbar als eine von Holz, oder ein mit Haaren ausgestopfter Ball, aber dennoch ohne Zweifel elastischer zu nennen, insofern die niedergedrückten Theile mit weit mehr Kraft und ungleich vollkommener nach aufhörendem Drucke bei jenen ihre vorige Stelle wieder einnehmen, als bei diesen. Obgleich man hiernach also alle Körper allerdings elastisch nennen kann, und die Eigenschaft der Elasticität somit eine allgemeine ist, so ist sie doch zugleich auch eine relative, d. h. der Unterschied der Elasticität bei den verschiedenen Körpern ist so groſs, daſs man hiernach im gemeinen Sprachgebrauche und insbesondere für die praktische Anwendung einige elastisch, andere aber nicht elastisch nennt [1].

Unter die merkwürdigsten Körper, rücksichtlich der Elasticität gehört das Glas. Es wird weiter unten gezeigt werden, daſs dasselbe in kleineren und gröſseren Stücken in sofern vollkommen elastisch ist, als seine Theile bei nachlassendem äussern Drucke auf ihre vorige Stelle genau wieder zurückkommen. Hiervon abgesehen zeigt sich kein anderer Körper auf gleiche Weise im höchsten Grade spröde und zugleich auch höchst elastisch, und das Glas dient eben daher hauptsächlich dazu, diese beiden Eigenschaften anschaulich darzustellen. Die Elasticität zeigen schon mäſsig dicke Glasröhren, indem sie sich biegen lassen, noch mehr sehr dünne, bis zu den feinsten *Glasfäden* [2], sehr dünn geblasene Glaskugeln und Scheiben. Insbesondere zeichnen sich die sogenannten *Glastrompeten* aus, trompetenförmige Flaschen mit einem sehr dünnen, etwas gewölbtem Boden, welcher concav wird, wenn man durch Saugen die Luft in der Flasche etwas verdünnt, und convex, wenn man hineinbläſst. Diesen ähnlich sind die hohlen Glaskugeln von 5 bis 6 Z. Durchmesser, welche durch eine Glaswand von so feinem Glase halbirt sind, daſs dieselbe beim Hineinblasen oder Erschüttern der ganzen Kugel klirrt. Noch mehr wird die Elasticität des Glases dargethan durch einen Versuch, welchen Leslie [3] erzählt. Wenn man ein Thermometer mit groſser Kugel

1 Vergl. Musschenbroek Introd. 1. §. 63.
2 Vergl. *Dehnbarkeit* Th. II. S. 511.
3 Elements of natural Philosophy. Edinb. 1823. I. 24.

und langer Röhre bis an das Ende der letzteren mit Quecksilber füllt, und umkehrt, so wird das Quecksilber herauslaufen, sobald man dasselbe schräg hält, noch mehr aber, wenn man es umkehrt, aber sogleich wieder sinken, wenn man es lothrecht hält, die Kugel herabwärts hängend. Hieraus geht hervor, daſs der Druck des schweren Metalles in Verbindung mit dem Luftdrucke das Glas der Kugel ausdehnt [1].

Auf gleiche Weise auffallend sind die Erscheinungen der Sprödigkeit beim Glase. Abgesehen von der Unbiegsamkeit gröſserer Stücke und dem leichten Zerspringen oder Zersplittern desselben durch mechanische Gewalt zeigt man dieselbe insbesondere an den *bononischen Flaschen* oder *Springkölbchen (phialae bononienses*; matras de Bologne; *Bologna jars)* und den *Springgläsern*, *Glastropfen*, *Glasthränen (lacrymae vitreae*; larmes bataviques, larmes de verre; *glass drops, Prince Rupert's drops).* Die erstern sind gegen 3 bis 4 Z. lange, birnförmige, Kolben von weiſsem oder grünem Glase, oben von 0,5 unten von 1 bis 1,5 oder 2 Lin. Glasesdicke. Man kann dieselben an ihrem untern Ende mit einem Stücke Holz ziemlich heftig schlagen, ohne daſs sie zerbrechen wirft; man aber ein kleines Stück von einem Feuerstein, nur eine Linse groſs, hinein, so zerspringen sie in viele Stücke. Ein gröſseres Stück Quarz wirkt hierbei oft geringer als ein kleineres, wahrscheinlich weil ersteres sie minder leicht mit einer scharfen Spitze ritzt; gröſsere stumpfe uud weiche Körper, auch mit gröſsrer Heftigkeit in ihnen bewegt, bringen keine Wirkung hervor. Sie werden auf die gewöhnliche Weise der Glasarbeiten geblasen, aber nicht im Kühlofen gekühlt, wodurch sie auſserordentlich spröde werden, indem die äuſsern Theile früher als die innern erkalten, und daher durch die inneren noch stark ausgedehnten Theile eine unverhältniſsmäſsige Ausdehnung behalten, wodurch die inneren wiederum sich nicht gehörig zusammenziehen können, und daher beim Geritztwerden zerspringen. Eben daher verlieren

1 Diesen Versuch hat schon früher v. Servières angegeben, leitete aber die Ursache von einer Zusammendrückung des Quecksilbers durch sein eigenes Gewicht ab, nicht von der Elasticität des Glases. S. Journ. Encyclop. 1778. Nov. p. 155. Zwar wirken beide Ursachen vereint, vorzugsweise aber die Elasticität des Glases.

sie ihre Eigenschaft, wenn man sie auf Kohlen langsam erhitzt und allmälig kalt werden läſst, oder in einem Kühlofen abkühlt. P. B. Balbus war es, welcher ihre Eigenschaft zuerst erkannte, und in Bologna Versuche damit anstellte, woher sie ihren Namen erhielten [1]. Die *Glastropfen* sind langgezogene, in einen meistens krumm gebogenen, zuweilen etwas schrauben-förmig gewundenen Schwanz endigende Tropfen von grünem Glase, welche man glühend in kaltes Wasser tröpfeln läſst, so daſs sie schnell darin erkalten, und auf gleiche Weise eine ausgezeichnete Sprödigkeit erhalten, als die Bologneser Flaschen. Der dicke Theil derselben läſst sich mit einem hölzernen Hammer schlagen und sogar auch abschleifen, ohne daſs sie zerspringen, welches sogleich erfolgt, wenn man die Spitze abbricht, und zwar so sehr, daſs sie in ein grobes Glaspulver wie zerstoſsenes Glas, jedoch ohne scharfe Splittern, zerstieben. Weil dieses mit nicht unbedeutender Gewalt geschieht, so ist es zur Sicherung der Augen nothwendig, sie zugleich in der hohlen Hand festzuhalten. Auch bei diesen sind die Theile in starker Spannung, das Zerbrechen der Spitze leitet ein Zerspringen der oberen Theile ein, und dieses theilt sich sofort den übrigen mit. Daſs dieses die richtige Erklärung sey, hat zuerst Homberg erkannt [2], und Hooke ausführlich gezeigt [3], auch folgt es aus dem Verhalten der bononischen Flaschen und vielen andern analogen Erscheinungen, namentlich daraus, daſs viele schlecht gekühlte Gläser, Glasröhren und Scheiben nach vielen Seiten hin zerspringen, wenn sie an einer Stelle geritzt werden. Mit Unrecht hat man dia Erscheinung von dem Eindringen der Luft in die zahlreichen Blasen abgeleitet, welche sich allerdings oft in den Glasthränen finden, denn sie zerspringen auch im luftleeren Raume; und es giebt deren viele ohne diese Blasen; auch hat Bosc de'Antic gezeigt, daſs diese kleinen Bläschen nichts anders als in Dampf aufgelösete Glasgalle sind [4]. Man kann die Glastropfen auch aus weiſsem Glase verfertigen, jedoch gerathen diese seltener als die grünen, welches zu dem Glauben veranlaſst hat, als könnten sie nur aus letzterem verfertigt werden. An Sprödigkeit ihnen ähnlich sind

1 *Comm.* Soc. Bonon. I. I. 328.
2 *Mém.* de l'Ac. X. 147.
3 *Microgr.* obs. VII.
4 *Mém.* prés. IV.

die schraubenförmig gewundenen *Glasfäden* (*vermiculi vitrei*), welche ihre gewundene Gestalt ohne Zuthun der Arbeiter durch das Herabfliesen in das Wasser annehmen. Erhitzt man die Glastropfen auf Kohlen und läfst sie langsam in denselben oder im Kühlofen erkalten, so verlieren sie ihre Sprödigkeit, und gleichen dem gekühlten Glase [1].

Etwas diesem Aehnliches findet auch bei den Metallen, namentlich dem Stahl statt. Wird derselbe glühend in Wasser geworfen, so erhalten seine Theile eine eigenthümliche Spannung, er ist spröde, und zwar oft auf gleiche Weise, als das Glas (*glashart*), wird er aber dann wieder erhitzt, und erkaltet langsam (*angelassen*), so wird er weich oder federhart, je nachdem die Hitze, welcher man ihn wieder aussetzt, gröfser oder geringer war, und seine Federkraft ist nach diesen Bedingungen schwächer oder stärker. Man erklärt diese Erscheinung bei beiden genannten, und bei allen andern Körpern, wo sie stattfindet, daraus, dafs die Theile beim langsamen Erkalten eine der Cohäsion günstigere Lage annehmen, so dafs sie nicht so leicht über die Grenze derselben hinausgerückt werden können [2].

Bleibend oder *permanent* [3] *elastisch* heifst ein Körper, dessen Theile nach der Zusammendrückung oder Ausdehnung, wie lange diese Einwirkung auch dauern oder wie oft sie wiederholt werden mag, dennoch allezeit wieder die frühere Gestalt und das ursprüngliche Volumen des Körpers wieder herstellen, abgesehen vom Einflusse einer höheren oder geringeren Temperatur. Den Erfahrungen zu Folge können blofs die Flüssigkeiten permanent elastisch genannt werden. Von den expansibelen nämlich ist dieses so weit erwiesen, als überhaupt etwas durch Erfahrung erweislich ist [3], von den tropfbaren Flüs-

---

1 Kästner diss. math. et phys. n. VIII. p. 59. 125. Erxleben Naturlehre. S. 355.

2 Young Course of Lectures on Natural Phil. Lond. 1807. II Vol. 4. I. 644.

3. Permanente Elasticität, hat man bisher als unterscheidenden Charakter der expansibelen Flüssigkeiten angesehen, und diese Eigenschaft den Gasarten, im Gegensatze der Dämpfe beigelegt. Nennt man aber die Gasarten *expansibel*, so kann der Ausdruck, permanent elastisch, wieder in seiner eigentlichen Bedeutung genommen werden. Ohnehin bleiben die Dämpfe, so lange sie wirklich Dämpfe sind, eben so gut permanent elastisch, als die Gasarten.

4. Vergl. *Expansibilität.*

sigkeiten aber läſst sich dasselbe nur in so fern annehmen, als es aus theoretischen Gründen im höchsten Grade wahrscheinlich wird; auch entscheidet die oben erwähnte Erfahrung des Grafen Bucquoi dafür, indem das noch zähe, mithin nur unvollkommen flüssige Glas durch wiederholte Schläge mit dem Rammklotze nicht dichter wurde, folglich seine Theile durch mehrfache starke Compressionen einander nicht bleibend näher kamen. Unter den festen Körpern haben einige einen sehr hohen Grad der Permanenz ihrer Elasticität. So wird eine Stahlfeder oder eine gut geschlagene Messingfeder, eine dünne Stange Fischbein, Horn, Schildpatt und dergl. eine unbestimmbar lange Zeit elastisch bleiben, jedoch unter zwei Bedingungen, nämlich zuerst wenn ihrer Elasticität nicht über eine gewisse Grenze hinaus entgegengewirkt wird, so daſs ihre Theile nach aufhörendem Drucke vollkommen an ihren früheren Ort zurückkommen; und zweitens wenn die Zusammendrückung nicht zu lange Zeit anhaltend wirkt. Beispiele unglaublich anhaltender Elasticität unter diesen angegebenen Bedingungen geben unter andern die Federn der Taschenuhren und die feinen Spiralfedern der Unruhe in denselben. Wenn man diese übrigens längere Zeit, nämlich Monate oder Jahrelang gespannt läſst, so verlieren sie von ihrer Elasticität, und kommen nicht wieder auf ihren früheren Standpunct zurück. Eigentlich permanent elastisch sind daher nur die Flüssigkeiten, welches auch mit den theoretischen Vorstellungen über das Wesen der Elasticität übereinstimmt.

Schwieriger ist die Entscheidung der Frage, ob es *vollkommen elastische Körper* giebt oder nicht. Vollkommen elastisch nennt man insgemein diejenigen Körper, deren Kraft der Elasticität der zusammendrückenden Kraft genau proportional ist, deren Theile also bei nachlassendem Drucke ihren vorigen Raum vollständig wieder ausfüllen [1]. Untersucht man zuerst das Verhalten der festen Körper, so könnte man viele derselben allerdings nach dieser Feststellung des Begriffs vollkommen elastisch nennen. Wenn man nämlich Versuche mit der Drehwaage anstellt, und den an einer Metallsaite hängenden Körper aus dem Zustande der Ruhe um die lothrechte Axe der Saite durch einen nicht zu groſsen Bogen bewegt; so wird derselbe sich selbst überlassen seinen ursprünglichen Stand wieder einnehmen,

1 Musschenbroek Introd. I. 761. Robison Mech. Phil. I. 374. Biot Traité. I. 469.

wie oft man auch diesen Versuch wiederholt [1]. Die Federn der Uhren und noch mehr die Spiralfedern der Unruhe in denselben stellen sich, mindestens die letzteren, mehrere Decennien hindurch wieder auf ihren ursprünglichen Standpunct ein. Wenn man aber berücksichtigt, daſs alle feste Körper, wenn sie sehr lange Zeit in unausgesetzter Spannung erhalten werden, von ihrer Elasticität verlieren, so muſs zugleich auch noch nothwendig angenommen werden, daſs ein der kürzeren Zeit proportionaler Verlust der Elasticität gleichfalls statt finde, wenn derselbe auch so geringe ist, daſs er in dieser Ausdehnung nicht gemessen werden kann. Versteht man ferner unter vollkommener Elasticität diejenige Eigenschaft, vermöge welcher die Körper nach aufhörendem Drucke durch ihre Elasticität ihr voriges Volumen mit einer der zusammendrückenden *völlig gleichen* Kraft wiederherstellen, so kann ihnen eine solche auf keine Weise beigelegt werden; denn sonst müſste z. B. eine vollkommen elastische Kugel, eine federharte Stahlkugel, auf eine vollkommen elastische oder harte Platte fallend durch ihre Elasticität wieder zu einer gleichen Höhe emporgeschnellt werden, als von welcher sie herabfiel, und der Waagebalken einer Coulombschen Drehwaage an einer vollkommen elastischen Saite müſste um einen Bogen $= x$ gespannt und losgelassen einen Bogen $= 2x$ durchlaufen, welches beides, eben wie eine gespannte und schwingende Saite eine beständig fortdauernde Bewegung geben würde. Daſs dieses nicht stattfindet, kann man nicht vom Widerstande der Luft herleiten, weil im luftleeren Raume die Oscillationen zwar länger dauern, aber doch bald genug aufhören, und obgleich kein Vacuum ein absolutes ist, so kann man doch ohne Schwierigkeit zeigen, daſs die Bewegungen weit früher aufhören, als aus dem geringen Widerstande der noch übrigen verdünnten Luft erklärlich ist. Man leitet daher diesen Abgang einer vollkommenen Elasticität nicht ohne Grund

---

1 Robison a. a. O. S. 375 versichert Thon durch eine Oeffnung gepreſst, und so zum Drahte formirt zu haben. Ein solcher, 0,05 Z. im Durchmesser und 7 F. lang, verstattete zwei ganze Umdrehungen um seine Längenaxe, und der Zeiger kam stets wieder auf seinen ursprünglichen Stand zurück. Ein Draht von Blei, viermal um eine ganze Umdrehung gedreht, brachte den Zeiger nicht wieder auf seinen ursprünglichen Stand, bei der Vergleichung aber zeigte sich der Thon elastischer als das Blei.

von einer Reibung der zusammengedrückten und an ihren ursprünglichen Ort zurückkehrenden Theile ab, wodurch nothwendig ein Theil der Kraft verloren werden muſs [1]. Mersenne [2] z. B. fand, daſs eine aus 12 Darmhäutchen verfertigte und durch 8 ℔ Gewicht gespannte Saite mit einer 0,25 Lin. dikken und mit 6,375 ℔. gespannten Metallsaite den Einklang gab, daſs aber die erstere nur 40 Secunden, die letztere 64 Sec. lang bebte, woraus er schlieſst, daſs sich die Theile des Metalles bei Veränderung der Gestalt weniger reiben, als die Theile der Darmsaite [3].

Flüssige Körper sind allerdings nach der zuerst aufgestellten Bedeutung dieser Bezeichnung vollkommen elastisch, insofern die tropfbaren nach den wenigen darüber vorhandenen Versuchen bei aufhörendem Gegendrucke ihren früheren Raum wieder ausfüllen [4], bei expansibelen aber ist dieses noch mehr der Fall, unter der Voraussetzung, daſs man stets von irgend einem geringeren Grade ihrer Zusammendrückung zu einem stärkeren übergeht, und so umgekehrt. Ob sie auch in der zweiten Bedeutung des Ausdrucks vollkommen elastisch genannt werden können, läſst sich zwar nicht durch Versuche ausmitteln, allein wenn schon die Reibung der Theile an einander bei ihnen kein Hinderniſs macht, so lassen sie sich doch in dieser Hinsicht nicht wohl als vollkommen elastisch ansehen, weil bei ihrer Compression allezeit Wärme entbunden, bei ihrer Ausdehnung aber gebunden wird; daſs Letzteres aber geschehe, erfordert einige Zeit, während welcher auch etwas Kraft verloren geht.

Unter vollkommen elastisch könnte man drittens die Eigenschaft der Körper verstehen, wenn sie einer jeden Zusammendrückung, Biegung, Drehung durch eine willkürlich groſse Kraft ohne Ende Widerstand leisteten, und nach aufhörender Einwirkung derselben ihr ursprüngliches Volumen wieder erhielten. In diesem Sinne ist kein Körper vollkommen elastisch, und ihre gröſsere oder geringere Elasticität wird nach der Stärke des Widerstandes gemessen, welchen sie den ihr Volumen ver-

1 Musschenbroek Introd. §. 763.

2 Harmonic. L. III. prop. 13.

3 S. Coulomb's Versuche bei Biot Traité. I. 501.

4 Vergl. unten *Elasticität der Flüssigkeiten.*

ändernden Kräften entgegensetzen. So hat eine Stahlfeder eine sehr hohe, ein Blech aus Zinn oder Blei eine sehr geringe Elasticität. Feste Körper zeigen sich in dieser Hinsicht vorzüglich merkwürdig. Alle sind nämlich elastisch, und in der ersten Bedeutung des Wortes auch in so fern anscheinend vollkommen elastisch, als sie bei einer geringen und kurzdauernden Veränderung ihrer Form diese vollständig wieder herstellen. Wächst aber die ihre Form verändernde Kraft, so wächst zwar auch der Widerstand, welchen sie derselben entgegensetzen, allein nur bis zu einer gewissen Grenze, über welche hinaus derselbe entweder ganz aufhört, indem sie zerbrechen, wie z. B. das Glas, oder geringer wird, und die Körper bei nachlassender Einwirkung ihr voriges Volumen nicht wieder erhalten. Fast alle Körper nämlich, mindestens die meisten Metalle, wenn sie als Drähte um ihre Längenaxe gedreht, ausgedehnt oder gebogen werden, kommen über diejenige Grenze hinaus, bis zu welcher sie ihre vorige Gestalt völlig wieder annehmen, ohne dafs dennoch ihre Cohäsion hierdurch überwunden wird, aufser das Glas, welches nach Robison [1] früher bricht, als es über diesen Punct hinaus kommt. Die Elasticität der Körper hat daher eine gewisse Grenze, und wenn sie über diese hinaus beschwert werden, so zerbrechen sie entweder sogleich, oder geben der einwirkenden Kraft stets mehr nach, bis der Zusammenhang ihrer Theile überwunden wird, welches Letztere dann am leichtesten geschieht, wenn eine Biegung abwechselnd nach verschiedenen Seiten wiederholt wird, weswegen man z. B. Drähte abbricht, indem man sie nach entgegengesetzten Seiten krumm biegt [2].

Ob die flüssigen Körper in der angegebenen Bedeutung des Wortes vollkommen elastisch sind, ist schwer zu entscheiden. Die *tropfbaren Flüssigkeiten* zuerst lassen sich durch einen sehr grofsen Druck nur wenig zusammendrücken, und ihr Widerstand scheint hierbei der zusammendrückenden Kraft jederzeit proportional. Liefsen sie sich sämmtlich in feste Körper verwandeln, und wären sie in diesem Zustande sämmtlich dichter als im flüssigen, so müfsten sie durch fortgesetzte Zusammendrückung zuletzt fest werden, und den Gesetzen der festen Kör-

1 a. a. O. p. 376.

2 Vergl. Coulomb in Mém. de l'Ac. 1784. p. 265. Tredgold Practical Essay on th strength of cast Iron. Lond. 1824. p. 2.

per unterliegen. Allein auch bei diesen letzteren zeigt sich die Grenze ihrer Elasticität nur dann, wenn sie nach der Länge ausgedehnt, gebogen, gedreht, oder so zusammengedrückt werden, daſs ihre Theile getrennt werden und seitwärts ausweichen können, indem sie, der einwirkenden Gewalt nachgebend, sich zerdrücken lassen. Bei tropfbaren Flüssigkeiten ist Letzteres unmöglich, indem sie stets in einen begrenzenden Raum eingeschlossen seyn müssen. Werden feste oder flüssige Körper unter dieser ebengenannten Bedingung zusammengedrückt, so läſst sich wegen der ungeheuern, hierzu erforderlichen Kraft durch die Erfahrung nicht ausmitteln, ob sie der zusammendrükkenden Kraft einen derselben stets proportionalen Widerstand entgegensetzen, oder vollkommen elastisch sind; wir wissen bloſs, daſs sie insgesammt dichter werden[1], und können aus theoretischen Gründen bloſs schlieſsen, daſs dieses nach der atomistischen Ansicht so lange fortdauern wird, bis sie den Zustand vollkommener Dichtigkeit erreicht haben, welchen wir indeſs nicht kennen, und also darüber nichts zu entscheiden vermögen.

Die expansibelen Flüssigkeiten endlich sind bis so weit vollkommen elastisch, als das *Mariotte'sche Gesetz* reicht. Indem dieses aber nicht allgemein gültig seyn kann, und auch die Erfahrung ergeben hat, daſs gewisse Gasarten durch wachsenden Druck tropfbar flüssig werden, der Analogie nach aber geschlossen werden kann, daſs dieses bei allen unter den geeigneten Bedingungen der Fall seyn wird[2], so läſst sich auch diesen Körpern die Eigenschaft der vollkommenen Elasticität nur bis so weit beilegen, als sie den Zustand der Expansion beibehalten.

II. Nähere Untersuchung der Elasticität.

Auſser diesen allgemeinen Betrachtungen ist es erforderlich, die Erscheinungen und Gesetze der Elasticität etwas näher zu untersuchen, und zwar zuerst, wie sie sich bei festen Körpern zeigen.

A. Feste Körper.

1. Die Elasticität der festen Körper zeigt sich zuerst, wenn man dieselben nach ihrer Länge ausdehnt. Hierüber sind al-

1 Vergl. *Dichtigkeit.*
2 Vergl. *Gas.*

lerdings viele Versuche angestellt, jedoch zunächst bloſs in der Beziehung, um die absolute Cohäsion der verschiedenen Körper, also das Maximum desjenigen Gewichtes zu bestimmen, welches sie zu tragen vermögen, ohne zu zerreiſsen, oder man hat gesucht, in näherer Beziehung auf die Elasticität, diejenige Last aufzufinden, wodurch sie nicht weiter ausgedehnt werden, als daſs sie sich bei nachlassender Dehnung wieder zu ihrem ursprünglichen Volumen zusammenziehen. Beide Arten von Untersuchungen, in Beziehung auf die Festigkeit der Körper von gröſster Wichtigkeit, sind bei der Aufsuchung der Cohäsionsgesetze [1] benutzt. Eigentliche Untersuchungen über die Gesetze der Elasticität bei der Spannung der Körper nach ihrer Länge, namentlich bei Metallsaiten, sind indeſs nicht zahlreich vorhanden. Unter die vorzüglichern gehören die von s'Gravesande [2]. Die Saiten, deren Elasticität er untersuchen wollte, wurden von dem Brette M N zwischen zwei Klemmen vermittelst der Schrauben V V' festgehalten, und so stark gespannt, daſs sie eine gerade Linie bildeten. Wird eine solche Saite A B dann in der Mitte mit einem Gewichte beschwert, so verlängert sie sich, und nimmt die Gestalt A C B an, und diese Verlängerung kann gemessen werden, wenn man die Sehne C c kennt. Zu diesem Ende schob s'Gravesande auf die Mitte der Saite das kleine Kupferblech o n, durch dessen oberes Löchelchen o die Saite gezogen war, am unteren Ende n aber hing mittelst eines Häkchens die kleine Waagschale W, welche mit verschiedenen Gewichten beschwert die Saite tiefer herabdrückte. Um das kleine Blech o n nebst der Waagschale W zu balanciren, war am oberen Ende des ersteren ein feiner Faden f angebracht, über die Rolle r geschlungen, und durch das Gegengewicht p balancirt. An der Rolle war zugleich der in seinem Schwerpuncte genau balancirte Zeiger d b befestigt, welcher mit seiner Spitze die Grade auf dem getheilten Kreise F G durchlief, und dadurch anzeigte, wie tief die Waagschale mit verschiedenen Gewichten beschwert herabgesunken war, welches die Gröſse c C angab. Damit diese Messung genau wird, zieht man nach Wegnahme der Saite A B die Waagschale W so-

Fig. 21.

1 S. *Cohäsion.*

2 Phys. Elem. math. I. p. 375. In der Darstellung folge ich Biot Traité. I. 470 ff.

weit herab, daſs sie den Boden genau berührt, beobachtet den Stand des Zeigers, legt unter die aufgehobene Waagschale einen Körper von genau gemessener Dicke, bringt sie mit diesem wieder in Berührung, und zählt die vom Zeiger durchlaufenen Grade.

Zu seinen Versuchen nahm s'Gravesande Claviersaiten 34,5 Z. lang und von einer Dicke, daſs diese Länge 24 Gran wog. Er gab derselben drei verschiedene Spannungen, indem er sie zwischen der Klemme V festschrob, und am andern Ende durch Gewichte straff ziehen lieſs, ehe er die Schraube V' anzog. Durch verschiedene, in die Waagschale gelegte Gewichte drückte er dann die Saite um 0,04 bis 0,4 Z. herab. Um hieraus die Elasticität zu berechnen, muſs man auſser der Sehne c C noch das Gewicht P kennen. Dabei läſst sich annehmen, daſs die beiden Theile A C und C B einander an Länge = R und an Spannung = T gleich sind, indeſs muſs auſser dem Gewichte P auch noch das sehr geringe Gewicht der Saite selbst mit in Rechnung genommen werden. s'Gravesande nimmt an, daſs die beiden Theile C A und C B einander gleich und gerade sind, und auf die beiden Unterstützungen A C und B C drücken. Wäre die Saite horizontal, so könnte man annehmen, daſs jeder Punct die Hälfte des ganzen Gewichtes, mithin C als doppelter Unterstützungspunct die Hälfte des Gewichts der ganzen Saite oder 12 Gran der gebrauchten trüge, und da die Sehne c C gegen die ganze Länge der Saite sehr klein ist, so läſst sich diese Voraussetzung auch bei der Berechnung als der Wahrheit genähert annehmen. Die von s'Gravesande aufgelegten Gewichte waren eine, zwei, drei und vier Drachmen, und da das eigene Gewicht der Saite 12 Gran = 0,2 Drachmen betrug, so war das gesammte Gewicht = P + 0,2 in Drachmen. Dieses Gewicht wurde balancirt durch die Elasticität der Saite = T oder ihrer beiden Theile A C und B C, welche aber nicht directe dem niederdrückenden Gewichte entgegenwirkten, sondern im Verhältnisse des Cosinus A B c, welcher $= \frac{C\,c}{A\,C}$ oder $\frac{C\,c}{B\,C}$ ist. Es wurde aber oben C c durch F und A C durch R bezeichnet, die Elasticität oder die Spannung der Saite aber durch T, folglich ist T $\frac{F}{R}$ der Widerstand, welchen die Spannung jedes Armes, A C und B C in der Rich-

Fig. 21.

tung Cc äufsert, und das Gleichgewicht wird hergestellt seyn, wenn die spannende Kraft $P + 0{,}2$ der Summe der Widerstände gleich ist, welches $\frac{2\,T\,F}{R} = P\ 0{,}2$ giebt, wenn P in Drachmen ausgedrückt wird, woraus dann $T = \frac{(P + 0{,}2)\,R}{2\,F}$ gefunden wird.

Um hierin R zu finden, darf man nur berücksichtigen, dafs die Figur zwei rechtwinkliche Dreiecke bildet, in deren jedem A C und B C die Hypotenuse ist. Hieraus folgt, wenn $A\,B = 2\,L$ ist,

$$R^2 = L^2 + F^2 \text{ oder } R = \sqrt{(L^2 + F^2)}$$

und wenn man berücksichtigt, dafs die Sehne F in den Versuchen stets gegen L sehr klein war, so kann man $(L^2 + F^2)^{\frac{1}{2}}$ in eine genügend convergirende Reihe entwickeln, und in genähertem Werthe

$$R = L\left(1 + \frac{F^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}} = L + \frac{F^2}{2\,L} - \frac{F^4}{8\,L^3}$$

setzen. In s'Gravesande's Versuchen war $2\,L = 34{,}5$ Z. und die gröfste Sehne $c\,C = 0{,}4$ Z., welches

$\frac{F^2}{2\,L} = 0{,}00463768$ und $\frac{F^4}{8\,L^3} = 0{,}0000006234$ giebt, und da die letztere Gröfse so klein ist, so kann

$$R = L + \frac{F^2}{2\,L} = L\left(1 + \frac{F^2}{2\,L^2}\right)$$

gesetzt werden, welches in die obige Gleichung substituirt

$$T = \frac{(P + 0{,}2)\,L}{2\,F}\left(1 + \frac{F^2}{2\,L^2}\right) \text{ giebt.}$$

Ist die Saite nicht schwerer als die von s'Gravesande gebrauchte, so ist $\frac{E^2}{2\,L^2} = 0{,}0002688$, welches bei dem gröfsten gebrauchten Gewichte von 86 Drachmen oder 5160 Gran nur $5160 \times 0{,}00026 = 1{,}34$ Gran, oder eine hierbei verschwindende Gröfse beträgt, und füglich vernachlässigt werden kann, so dafs also $T = \frac{(P + 0{,}2)\,L}{2\,F}$ oder für $L = \frac{34{,}5}{2}$ Z. genau genug $= 8{,}622\ \frac{(P + 0{,}2)}{F}$ gefunden wird.

In den drei Versuchen von s'Gravesande bei verschiedenen Spannungen der Saite waren

Spannungen der Saite	Gewichte in Drachmen $P + 0{,}2$	Länge der Sehne in Zollen $= F$
Geringere Spannung	3 36	0,04 0,40
Stärkere Spannung	8 70	0,05 0,40
Stärkste Spannung	8 86	0,04 0,40

Werden aus diesen drei Reihen die Spannungen zuerst für die geringeren Gewichte berechnet, so erhält man

1. Reihe ... $T = \frac{3 \times 8{,}625}{0{,}04} = 646{,}875$ Drachmen

2. Reihe ... $T = \frac{8 \times 8{,}625}{0{,}05} = 1380{,}000$ — —

3. Reihe ... $T = \frac{8 \times 8{,}625}{0{,}04} = 1725{,}000$ — —

Für die gröfseren Gewichte erhält man auf gleiche Weise in Drachmen

1. Reihe ... $T' = \frac{36 \times 8{,}625}{0{,}4} = 776{,}250 = T + 129{,}375$

2. Reihe ... $T' = \frac{70 \times 8{,}625}{0{,}4} = 1509{,}375 = T + 129{,}375$

3. Reihe ... $T' = \frac{86 \times 8{,}625}{0{,}4} = 1854{,}375 = T + 129{,}375.$

Diese Versuche ergeben, dafs die reagirenden Elasticitäten einer Metallsaite für gleiche Vermehrungen der Spannung, von welcher früheren man ausgeht, einander gleich sind, und da die Sehne bei allen drei vermehrten Gewichten 0,4 Z. betrug, so waren auch die absoluten Verlängerungen der Saite einander gleich, welches zu dem Satze führt, dafs wenn eine Metallsaite durch irgend ein Gewicht $= T$ gespannt ist, eine Vermehrung des Gewichtes $= t$ eine gleiche Verlängerung der Saite hervorbringen wird, welches auch die frühere Spannung durch T seyn mochte, vorausgesetzt, dafs die Saite nicht über die Grenze ihrer Elasticität hinaus ausgedehnt wurde, welches sich dadurch zeigt, dafs sie bei nachlassender spannender Kraft stets wieder zu ihrer ursprünglichen Länge zurückkehrt. Wenn man also unter

dieser letzteren Bedingung einer Saite durch irgend eine Kraft die Spannung T giebt, wodurch ihre Länge = L wird, und der Kraft fortwährend neue hinzufügt, deren jede eine Vermehrung der Spannung = t und der Länge = l erzeugt, so gehören zu den Spannungen T; T + t; T + 2t .... T + nt die Längen L; L + l; L + 2l .... L + nl, also sind *die Vermehrungen der Längen den Spannungen direct proportional.*

Den hieraus folgenden, für das Wesen der Elasticität sehr wichtigen Satz hat zuerst R. HOOKE[1] als allgemein gültig aufgestellt, indem er es anfangs als Chiffer nach der Reihenfolge der Buchstaben bekannt machte, nämlich ceiiinosssttuu — und dieses später erklärte: *ut tensio sic vis.* Alle späteren Untersuchungen haben dieses Gesetz bestätigt, vorausgesetzt, dafs die Spannung der Körper nicht weiter geht, als soweit ihre Elasticität vollkommen scheint, indem ihre Theile über diese Grenze hinaus eine andere Lage gegen einander annehmen, und sich zwar elastisch zeigen, aber nicht wieder zu ihrem anfänglichen Volumen zurückkommen[2]. Eben dieses Gesetz gilt auch bei der Zusammendrückung der Körper, und es ist also überflüssig, die Erscheinungen der Elasticität für diesen Fall besonders zu untersuchen[3].

Aus den Versuchen von s'GRAVESANDE über Saiten, welche an beiden Enden befestigt sind, alsdann angezogen werden und pendelartig schwingen, folgt, dafs die Schwingungen isochronisch erfolgen, wie grofs auch der durchlaufene Bogen seyn mag, ein bekannter Satz der Mechanik. Sind die Saiten ähnlich und gleich gespannt, aber von ungleicher Länge, so verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Längen; sind sie übrigens gleich, aber von ungleicher Dicke, so verhalten sich die Zeiten wie die Durchmesser. Nennt man daher allgemein bei zwei gleichartigen Saiten P und p die spannenden Kräfte, L und l die Längen, D und d die Durchmesser, T und t die Schwingungszeiten, so ist

$$\frac{L^2 D^2}{T^2 P} = \frac{l^2 d^2}{t^2 p}.$$

1 Philos. Tracts and Collections. Lond. 1679. 4. Lect. of Springs. L. C.

2 Tredgold practical essay on the strength of cast iron. Lond. 1824. 117.

3 Young Lectures on Nat. Phil. I. 137.

Indem ferner bei Saiten ihre Massen, und somit auch ihre Gewichte sich verhalten wie die Producte ihrer Längen in die Quadrate ihrer Durchmesser, also, wenn ihre Gewichte G und g heifsen,

$$G : g = LD^2 : ld^2,$$

so ist auch $\frac{LG}{T^2 P} = \frac{lg}{t^2 p}$

oder $T^2 : t^2 = \frac{LG}{P} : \frac{lg}{p}$

das heifst: *die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten sich wie die Producte der Längen in die Gewichte und umgekehrt wie die spannenden Kräfte.* Bei elastischen Blechen und Streifen finden die nämlichen Gesetze statt, weil man sie als vereinigte Saiten ansehen kann.

Auch mit dünnen Blechen stellte s'Gravesande Versuche an, und gebrauchte dazu den oben beschriebenen Apparat. Er nahm nämlich eine nicht aufgewundene Uhrfeder, gleichfalls 34,5 Z. lang und 67 Gran schwer. Auch hierbei mufs also die Hälfte dieses Gewichtes zu dem in der Waagschale = P addirt werden, um die gesammte drückende Kraft zu finden. Bei der Kleinheit dieses Gewichtes gegen P nahm indefs s'Gravesande in genähertem Werthe nur 30 Gran, oder 0,5 Drachme, um das Ganze in Drachmen auszudrücken, und sonach wird für lange Bleche

$$T = \frac{(P + 0,5)\ 8,625}{F}$$

wenn die übrigen Bezeichnungen, wie oben für Metalldrähte beibehalten werden.

Vier Reihen von Beobachtungen gaben folgende Gröfsen:

Spannungen des Bleches	Gewichte in Drachmen $P + 0,5$	Länge der Sehne in Zollen = F
Geringe Spannung	20 144	0,10 0,40
Stärkere Spannung	32 192	0,10 0,40
Noch stärkere Spannung	64 430	0,07 0,40
Stärkste Spannung	64 492	0,06 0,40

Diese Resultate nach der angegebenen Formel berechnet geben folgende Werthe:

1. Reihe T = 1725; T' = 3105 = T + 1380
2. Reihe T = 2760; T' = 4140 = T + 1380
3. Reihe T = 7885,71; T' = 9271,87 = T + 1386
4. Reihe T = 9200; T' = 10608,75 = T + 1408

Die geringen Differenzen kommen als Theil des Totalgewichtes in Betrachtung, indem sie nicht mehr Hunderttheile desselben betragen würden, und man darf daher die Zunahmen der Spannung allgemein = 1380 setzen, welches, wie bei den Saiten eine Vermehrung der Länge = 0,00927536 Z. beträgt, so dafs also auch hieraus das oben gefundene Gesetz hervorgeht, wonach die Verlängerung der spannenden Kraft proportional ist. Solche Bleche lassen sich daher als eine Zahl neben einander liegender Drähte ansehen.

Wenn man diesemnach das hier aufgestellte Gesetz, nämlich dafs bei der Ausdehnung sowohl als auch bei der Zusammendrückung der verschiedenen Körper derjenige Widerstand, welchen sie vermöge ihrer Elasticität der einwirkenden Kraft entgegensetzen, dieser letzteren so lange direct proportional, und ihre Verlängerung oder Verkürzung diesemnach der Zunahme der Gewichte gleich ist, so lange sie nicht über die Grenze ihrer Elasticität hinaus beschwert werden, so ist es für die praktische Anwendung vorzüglich nützlich, für die verschiedenen Körper von einer gegebenen Dimension diejenigen Lasten durch Versuche aufzufinden, durch welche sie bis zu dieser Grenze gebracht werden[1], und den aliquoten Theil der Vermehrung oder Verminderung ihrer Länge, welcher diesem Gewichte zugehört. Beide Gröfsen hat man durch die zahlreichsten Versuche über die absolute Festigkeit der Körper zu bestimmen von jeher sich eifrigst bemühet, indem sie aber bei den Untersuchungen über die Cohäsion schon ausführlich erwähnt sind, so darf ich hier nur auf jenen Artikel verweisen[2].

---

1 T. Young Lectures I. 141. sagt: A permanent alteration of form limits e strength of materials with regard to practical purposes, almost as much as fracture, since in general de force which is capable of producing this effect, is sufficient, with a small addition, to increase it till fracture takes place.

2 S. *Cohaesion* II. 153 u. 164.

2. Die Elasticität der festen Körper zeigt sich zweitens, wenn dieselben mit beiden Enden auf einer festen Unterlage liegend in der Mitte, oder an einem Ende festgeklemmt am andern durch eine Last niedergebogen werden. Versuche hierüber sind in Menge angestellt, meistens aber nur gelegentlich, wenn man die relative Festigkeit erforschen wollte. Unter die absichtlich angestellten Versuche gehören die von Coulomb[1], welcher ein Stahlblech nahm, 11 Lin. breit 0,5 Lin. dick, dieses an einer Seite zwischen zwei eisernen Platten festklemmte und mit einer Klemmschraube an einem Tische in horizontaler Lage befestigte, an das andere Ende aber in einer Entfernung von 7 Z. ein Gewicht fügte und die Theile, um welche der Stahlstreifen niedergebogen wurde, an einer getheilten Scale maſs. Die gebrauchten Gewichte waren 0,5; 1 und 1,5 ℔, welche den gehärteten und nachher den bis zur blauen Farbe angelassenen Streifen 8; 15,5 und 23 +. Lin. herabdrückte, woraus also abermals hervorgeht, daſs die Elasticität der spannenden Kraft direct proportional ist. Viele ähnliche Versuche hat Beaufoy zugleich mit den Untersuchungen über die relative Festigkeit der Körper verbunden, und sich dazu der oben[2] beschriebenen Maschine bedient, welche wohl ohne Zweifel die zweckmäſsigste ist, indem der Zeiger genau die durchlaufenen Bogen angiebt, und der zu prüfende Stab allezeit in gleicher Entfernung von seinem Stützpuncte und in lothrechter Richtung auf sein eines Ende durch das Gewicht niedergedrückt wird. Auſserdem wird die Berechnung sehr dadurch erleichtert, daſs man durch das Gegengewicht sowohl das aufgesteckte Bogenstück und die Waagschale, als auch das eigene Gewicht des untersuchten Stabes balanciren kann, und demnach bloſs die angehängten Gewichte zu beachten hat. Obgleich Beaufoy zunächst nur dasjenige Gewicht zu bestimmen suchte, wodurch die verschiedenen Stäbe zerbrochen wurden, so hat er zugleich doch auch das allgemeine Gesetz bestätigt gefunden, daſs die Biegungen innerhalb der Grenze der unveränderten Elasticität den drückenden Kräften direct proportional sind.

Verschiedenes, in Beziehung auf die Elasticität Wichtiges ist erörtert durch Tredgold bei einem erst neuerdings bekannt

1 Mém. de l'Ac. 1784. 266. Biot Traité I. 509.

2 Vergl. *Cohäsion* II. S. 151.

gewordenen Versuche über das Verhalten des Stahls bei verschiedenen Graden der Härtung. COULOMB schlofs nämlich aus seinen oben erwähnten Versuchen, dafs die elastische Kraft des Stahls bei verschiedenen Graden der Härtung gleich sey, und eben dieses folgerte TH. YOUNG aus seinen Beobachtungen schwingender Stäbe [1]. Um diesen Satz zu prüfen, bediente sich TREDGOLD [2] einer Vorrichtung, welche mit der von s'GRAVESANDE gebrauchten grofsen Aehnlichkeit hat, mit dem Unterschiede, dafs bei derselben die zur Untersuchung bestimmten Stahlstäbe auf Unterlagen von Eisen gelegt wurden. Der erste Stab von gemeinem Stahl *(blistered steel)* war 0,95 engl. Z. breit, 0,375 Z. dick und lag auf 13 Z. von einander abstehenden Unterlagen. Bei vier verschiedenen Graden der Härtung, der feilenharten, der tiefstrohgelben, der federblauen und ganz weich gemacht, zeigte der Stab gleiche Elasticität, sank herab mit 54 ℔ beschwert um 0,02 Z.

— 82 — — — 0,03
— 110 — — — 0,04

und zeigte keine bleibende Beugung, wenn er auch durch das letztere Gewicht einige Stunden hindurch beschwert blieb. Nimmt man mit geringer Abänderung die Reihenfolge dieser Gröfsen, so geben

27,5 ℔ eine Biegung = 0,01 Z.
2 × 27,5 = 55 ℔ — = 0,02 Z.
3 × 27,5 = 82,5 ℔ — = 0,03 Z.
4 × 27,5 = 110 ℔ — = 0,04 Z.

also ohne weitere Rechnnung eine regelmäfsige Folge. Der Stab wurde dann abermals stark gehärtet, zeigte die nämlichen Biegungen, und es gaben ferner

300 ℔ eine Biegung von 0,115 Z.
350 ℔ — — — 0,130 Z.
580 ℔ brach der Stab.

Das erste Gewicht hätte nach der oberen Progression 0,109 Z. Biegung geben müssen, indefs scheint hierbei der Stab schon über die Grenze seiner vollständigen Elasticität belastet gewesen zu seyn, denn 350 ℔ gaben ihm eine bleibende Biegung von 0,005 Z., welche durch 10 ℔ Vermehrung bis 0,01 Z. zunahm.

---

1 In dessen Lectures II. 403.

2 Phil. Trans. 1824, II. 354.

Um mit einem längeren Stabe die feineren Unterschiede besser beachten zu können nahm TREDGOLD einen anderen Stab, von demselben Stahl, 0,92 Z. breit 0,36 Z. hoch, und entfernte die Unterlagen bis 24 Z. Zuerst wurde derselbe so weich gemacht, dafs er der Feile nachgab, und in diesem Zustande bewirkten

18,6 ℔ eine Biegung von 0,05 Z.
37 — — — — 0,10 —
47 — — — — 0,127 —

Nachdem der Stab gehärtet war, erhielt TREDGOLD die nämlichen Resultate. Er wurde dann strohgelb angelassen, und es gaben

47 ℔ eine Biegung von 0,127 Z.
85 ℔ — — — 0,230 —
130 ℔ — — — 0,350 —
150 ℔ — — — 0,400 —

Nimmt man hierbei 37 ℔ als Einheit; so gehört zu 130 ℔ eine Biegung von 0,351 Z. Bei dieser Belastung zeigte der Stab noch keine bleibende Veränderung, wohl aber bei 150 ℔, und zwar = 0,012 Z. Die Belastung wurde fortgesetzt, und es gaben

185 ℔ eine Biegung von 0,50 Z.
385 ℔ — — — 1,04 —.

Es ist merkwürdig, dafs beide Gröfsen die obige Reihenfolge genau geben, denn zu 185 ℔ gehören 0,500 und zu 385 ℔ 1,0405 Z., woraus folgt, dafs bei gestähltem Stahle, wie etwa auch beim Glase, die Elasticität bis zum Zerbrechen desselben stets regelmäfsig bleibt. Bei der letzten Belastung nämlich hörte man nach einer Minute ein leises Knacken, und ohne Vermehrung des Gewichtes brach der Stab nach 15 Minuten. Ausgemacht ist aber durch diese Versuche, dafs die elastische Kraft des Stahls bei jeder Härtung desselben gleich ist; es verhält sich aber die Festigkeit desselben bis zu derjenigen Grenze, wobei er eine bleibende Veränderung erleidet, zu der absoluten Festigkeit bei hartem Stahl wie 1: 1,66; bei strohgelb angelassenem aber wie 1: 2,56.

Von den übrigen zahlreichen Versuchen zur Bestimmung der relativen Festigkeit der Körper, bei denen zugleich die Gröfse ihrer Elasticität beobachtet wurde, können nur einige der wichtigsten hier namhaft gemacht werden. Dahin gehören die von

John Banks[1] mit Stäben von Gufseisen, welcher fand, dafs diese sämmtlich 3 engl. F. lang um 1 engl. Z. herabsanken, ehe sie zerbrachen, welches nebst der regelmäfsigen Zunahme der Biegung auf eine vorzüglich elastische Sorte schliefsen läfst. Rondelet[2] hat viele Versuche mit Stäben von 3,83 und 1,915 F. Länge zwischen den Unterlagen angestellt, woraus hervorgeht, dafs die Biegung nur so lange regelmäfsig wächst, als der Körper nicht über die Grenze seiner Elasticität beschwert wird. Diese Grenze liegt indefs oft bei den nämlichen Körpern sehr ungleich entfernt, was sich aus der verschiedenen Beschaffenheit derselben erklären läfst. So fand Tredgold, dafs Schmiedeeisen sich um 0,000714 seiner Länge ausdehnen läfst, ehe es über die Grenze seiner Elasticität hinaus kommt, Duleau[3] aber fand unter seinen zahlreichen Versuchen diese Gröfse einmal = 0,000441 als Minimum, ein anderesmal = 0,001167 als Maximum.

Viele Versuche mit einem zweckmäfsigen Apparate hat G. Rennie[4] angestellt, am zahlreichsten und genauesten aber, jedoch blofs mit Gufseisen, sind die von Tredgold[5], welcher zugleich auch fremde Versuche verglichen, und aus einer Reihe derselben dasjenige Gewicht gefunden hat, wodurch Gufseisen bis zur Gränze seiner Elasticität belastet werden darf, nämlich $\frac{10}{27}$, in einer andern $\frac{10}{34}$ derjenigen Last, wodurch dasselbe zerrissen wird, eine Bestimmung, welche mit der aus Bank's und Rennie's Versuchen erhaltenen übereinstimmt. Tredgold untersuchte auch das Verhalten des geschmiedeten Eisens. Hierzu nahm er Stäbe von nahe 1 Quad. Z. Querschnitt und 6 F. Länge, legte sie auf Unterlagen, welche 66,5 engl. Z. von einander abstanden, beschwerte sie mit verschiedenen Gewichten, und erhielt folgende Biegungen derselben gleichfalls in englischen Zollen:

---

1 On the Power of Machines. Kendal 1803. S. 96.

2 Traité Théorique et Pratique sur l'Art de Bâtir. Par. 1814. VI Tom. 4. IV. 514.

3 Essay théorique et expérimental sur la résistance du Fer forgé. Par. 1820. 4.

4 Phil. Trans. 1818. 1.

5 Practical Essay on the strength of cast Iron. S. 66 ff.

1. Bei englischem Eisen

Gewicht der Stäbe	Biegung in Zollen bei Belastung mit		
	58 ℔	114 ℔	170 ℔
33 ℔ — —	0,0625	0,10	0,1875
25 — — —	0,1250	0,25	0,3750
20 — — —	0,1500	0,32	0,5000
24 — — —	0,1250	0,25	0,3750
17 — — —	0,2500	0,50	0,8000

2. Bei schwedischem Eisen

Gewicht der Stäbe	Biegung in Zollen bei Belastung mit		
	58 ℔	114 ℔	170 ℔
32 ℔ — —	0,0625	0,125	0,190
27 — — —	0,0800	0,161	0,250
33 — — —	0,1250	0,250	0,375

Auch ohne nähere Berechnung sieht man bald, dafs das angegebene Gesetz durch die hierbei erhaltenen Gröfsen gleichfalls bestätigt wird. Dafs aber die Biegungen ungleich werden und unregelmäfsig wachsen, sobald die Körper über die Grenze ihrer Elasticität belastet werden, ersieht man deutlich aus denjenigen Versuchen, welche Tredgold mit Stäben von Glockenspeise anstellte, welche 0,5 Z. hoch, 0,7 Z. breit waren und auf Unterlagen von 12 Z. Abstand ruheten.

Sie gaben mit folgenden Gewichten die denselben zugehörigen Biegungen in engl. Zollen.

Gewichte.	Biegungen.	Gewichte.	Biegungen.
19 ℔	0,01	120 ℔	0,06
38 —	0,02	200 —	0,17
56 —	0,03	230 —	0,34
78 —	0,04	320 —	3,00
100 —	0,05		

So lange die Last nicht mehr als 100 ℔ betrug, wurde sie wiederholt abgenommen, ohne dafs eine Biegung merklich war, so oft aber die 120 ℔ aufgelegt und wieder weggenommen wurden, zeigte sich eine bleibende Biegung von 0,005 Z. Ein Stab von gegossenem Messing 0,45 Z. dick 0,7 Z. breit und auf 12 Z.

entfernten Unterlagen ruhend, gab mit folgenden Gewichten beschwert die zugehörenden Biegungen in engl. Zollen

Gewichte.	Biegungen.	Gewichte.	Biegungen,
12 ℔	0,01	52 ℔	0,04
23 —	0,02	65 —	0,05
38 —	0,03	110 —	0,18

Bei 52 ℔ Belastung zeigte der Stab nach der Wegnahme keine bleibende Biegung.

Diejenige Curve, welche ein elastischer, an beiden Enden unterstützter, durch ein aufgelegtes oder sein eigenes Gewicht herabgezogener Stab, oder ein an einem Ende eingeklemmter horizontaler, am andern Ende mit einem Gewichte belasteter bildet, heifst die elastische Curve (*curva elastica;* courbe elastique; *elastic curve).* Sie ist untersucht durch Jacob Bernoulli[1], und später durch seinen Neffen Daniel Bernoulli[2] durch L. Euler[3] und andere. Ist der an beiden Enden befestigte, durch sein eigenes Gewicht herabgezogene Körper eine vollkommen biegsame Linie (eine Kette), so ist die entstehende Curve eine Kettenlinie (*catenaria;* chainette; *catenary)* welche mit ihr verwandt und vielfach untersucht ist[4]. Sie gehören in das Gebiet der Mathematik.

3. Die Elasticität der Körper zeigt sich ferner durch den Widerstand, welchen sie einer Drehung um ihre Axe entgegensetzen (force de réaction de torsion, élasticité de torsion; *resistance to torsion, against twisting).* Dieser Gegenstand kommt vielfach in Betrachtung, theils als Grundlage der Drehwaage[5], theils bei der Construction der Wellen und Bäume der Maschinen, welche mit grofseter oder geringerer Kraft um diese ihre Längenaxe gedrehet werden.

1 Acta Erud. 1694. u. 1695.

2 Acta Petrop. 1729.

3 Methodus inveniendi curvas maximi minimique proprietate gaudentes. Genev. 1744. 4. Addit. II. Com. Pet. III. 70. Acta Petrop. III. II. 188. Lexel ebend. V. II. 207.

4 Joh. Bernoulli in Acta Erud. 1791. Bernoulli Opp. I. 48. III. 491 Gregory in Phil. Trans. XIX. 637. XXI. 419. Clairaut Mém. de Berlin VII. 270. Kraft N. Com. Pet. V. 145. Legendre Acta Pet. 1786 20. u. v. a.

5 S. *Drehwaage.*

Hinsichtlich der ersteren haben wir die gehaltreichsten Untersuchungen von Coulomb[1], welche in der Hauptsache hier mitzutheilen nicht zweckwidrig seyn wird[2].

Die durch Coulomb befolgte Methode, die Elasticität langer Metalldrähte gegen eine Drehung um ihre Axe zu untersuchen, war folgende. Er hing an einen oben befestigten Draht SF einen Cylinder von Metall P so auf, daſs die Axe desselben FR mit der des Drahtes eine gerade Linie bildete, brachte unten einen Zeiger RL, und unter demselben einen getheilten Kreis an. Wurde dann der Cylinder um seine Axe gedrehet, so durchlief der Zeiger die der Drehung zugehörigen Grade auf dem getheilten Kreise. Ist hiernach AB ein Stück dieses in B befestigten Drahtes, und wird derselbe so um seine Axe gedrehet, daſs ein Streif seiner Oberfläche aus der Lage MA in die Lage mX gebracht wird, also der Punct A mit der Axe den dem Winkel ACX zugehörigen Bogen durchlaufen hat, so werden die Puncte M, M_1, M_2, M_3 .... an die Oerter m, m_1, m_2, m_3 .... gerückt seyn, und vermöge der anziehenden Kräfte, welche die Festigkeit des Körpers bedingen, wieder an ihre frühere Stelle zu kommen sich bestreben. Eben dasjenige, was hier über den einen Theil der Oberfläche ausgesprochen ist, gilt von allen Theilen des ganzen Drahtes. Würde der Bogen AX verdoppelt, so würde die Abweichung eines jeden der genannten Puncte von seinem früheren Orte verdoppelt werden, und nach dem oben über das Verhältniſs der Elasticität aufgefundenen Gesetze würde auch die Reaction der Theile gegen die drehende Kraft doppelt seyn, folglich muſs auch der ganze Draht mit doppelter Kraft der Drehung entgegenstreben. Denkt man sich um die Axe des Drahtes einen mit seiner Oberfläche concentrischen Kreis gezogen, um auf diesem die Winkel der Drehung zu messen, nimmt man ferner einen diesem Kreise zugehörigen Radius als Einheit an, auf welchen eine horizontale Kraft $= n$ wirkend den Draht durch den Bogen $= X$ umdrehet, so wird diejenige Kraft, welche den Draht nach dieser Drehung zum Stillstande bringt, oder der Reaction des Drahtes das Gleichgewicht hält $= nX$ seyn. Bezeichnet man die halbe Peripherie des Kreises durch π und führt einen Radius $= R$ statt der an-

Fig. 22

Fig. 23.

1 Mém. de l'Ac. 1784.

2 Nach Biot Traité. I. 483.

genommenen Einheit desselben ein, so ist die elastische Kraft des Drahtes, welche der auf das Ende des an sich als nicht schwer gedachten Radius wirkenden drehenden Kraft entgegenstrebt $= \frac{\pi n X^{\circ}}{180 R}$. Hörte die Kraft auf zu wirken, so würden die Theile des Drahtes sich wieder in ihr früheres Gleichgewicht zu setzen streben, der Winkel X also abnehmen, zuletzt $= 0$ werden, dann aber vermöge der erhaltenen Bewegung nach der entgegengesetzten Seite übergehen, bei vollkommener Elasticität des Körpers und abgesehen vom Widerstande der Luft eine der vorhergehenden positiven gleiche negative Gröſse erhalten, und so die Bewegung ohne Ende fortsetzen. Indem ferner die Kräfte, welche den Körper sollicitiren, an den ursprünglichen Ort seiner Ruhe zurückzukommen, dem Abstande von diesem Puncte direct proportional sind, so würden diese Oscillationen alle in gleichen Zeiten geschehen, wie groſs auch der zu durchlaufende Bogen seyn möchte.

Behalten n und R die angenommenen Bedeutungen, und heiſst M die Masse des oscillirenden Körpers, diese in einem einzigen Puncte vereinigt gedacht, π das Verhältniſs des Kreises zu seinem Durchmesser oder 3,14..., T aber die Zeit einer einfachen Schwingung, so ist nach mechanischen Gesetzen[1]

$$T = \pi \sqrt{\frac{R^2 M}{n}}$$

Bezeichnet dann ferner dm ein Theilchen der Masse des Körpers, denkt man sich ein jedes in der Entfernung r vom Centro der Oscillation, und wird sonach die ganze Masse des Körpers mit dem Quadrate dieses Abstandes multiplicirt durch $\int r^2 dm$ ausgedrückt, so ist

$$T = \pi \left(\int \frac{r^2 dm}{n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Es ist aber für einen in seiner Axe lothrecht aufgehangenen, um seine, mit der des tragenden Fadens zusammenfallenden Axe oscillirenden Cylinder das Trägheitsmoment

$$\int r^2 dm = \frac{M a^2}{2}$$

wenn a den Halbmesser seiner Peripherie bezeichnet, und wenn man statt des Cylinders einen dünnen Draht in der Mitte seiner

---

2 Poisson Traité de Mécanique I. 402.

Länge an dem Faden oder der Saite horizontal schwebend befestigt,

$$\int r^2\, dm = \frac{M\, l^2}{3}$$

wenn l die halbe Länge desselben bezeichnet, und so erhält man für diese beiden Fälle die zwei Gleichungen

$$T = \pi \sqrt{\frac{M\, a^2}{2\, n}} \text{ und } T = \pi \sqrt{\frac{M\, l^2}{3\, n}},$$

deren man sich zur Erforschung der Elasticität eines um seine Axe gedreheten Drahtes nach COULOMB's Methode bedienen kann.

Um in dieser Formel die Oscillationen gegebener Massen auf bestimmte Bewegungen in bekannten Zeiten zurückzubringen, darf man nur berücksichtigen, daſs bei fallenden und somit auch pendelartig oscillirenden Körpern die Geschwindigkeit $C = 2gt$ ist, wenn t die Zeit in Sexagesimalsecunden und g denjenigen Raum bezeichnet, welchen ein Körper in einer Secunde frei herabfällt. Wird die Gröſse g, im Mittel = 15,1 Par. F., in dem nämlichen Maſse ausgedrückt, worin a und l in den angegebenen Formeln genommen sind, M aber durch das Gewicht, und daher = P gesetzt, so wird für einen an dem Drahte aufgehangenen Cylinder:

$$n = \frac{P\, \pi^2\, a^2}{4\, g\, T^2} \text{ und also } T = \pi\, a \left(\frac{P}{4\, g\, n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

und für einen waagerechten Hebelarm:

$$n = \frac{P\, \pi^2\, l^2}{6\, g\, T^2} \text{ und also } T = \pi\, l \left(\frac{P}{6\, g\, n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

COULOMB bediente sich bei seinen Versuchen der Drähte von Messing und von Eisen mit einem an ihnen aufgehangenen Cylinder. Die Beschaffenheit derselben zeigt folgende Uebersicht:

	Nr.	Gewicht einer Toise		Absolute Festigkeit			
Eisen	12	5	Grains	3	℔	12	Unzen
	7	14	—	10	—	0	—
	1	56	—	33	—	0	—
Messing	12	5	—	2	—	3	—
	7	18,5	—	14	—	0	—
	1	66	—	22	—	0	—

Mit diesen erhielt er folgende Resultate.

	Nr.	Länge in Zollen	Gewicht des Cylinders in ℔	Grenze des Bogens für isochronische Schwingungen	Zeitdauer von 20 isochron. Schwingungen
Eisen	12	9	0,5	180	120
	12	9	2,0	180	242
	7	9	0,5	180	42
	7	9	2,0	180	85
	1	9	2,0	45	23
Messing	12	9	0,5	360	220
	12	9	2,0	360	442
	7	9	0,5	360	57
	7	9	2,0	360	110
	7	36	2,0	1080	222
	1	1	2,0	50	32

Indem der Durchmesser der aufgehangenen Cylinder stets 19 Lin. betrug, somit also a eine constante Gröſse ist, so muſs nach der Formel für n das Verhältniſs $\frac{P}{T^2}$ einen beständigen Werth geben, oder die Zeiten müssen sich verdoppeln, wenn das Gewicht vierfach wird. Daſs dieses so sey, geht aus den Versuchen hervor, indem das Verhältniſs der Gewichte von 0,5 : 2,0 die Verhältnisse der Zeiten = 120 : 242; 42 : 85; 220 : 442 und 57 : 110 mit der Formel nahe genug übereinstimmend giebt. Die gröſsere Ausdehnung der Saiten durch vermehrtes Gewicht hat also auf die Elasticität keinen Einfluſs, eben wie bei s'Gravesande's Versuchen ohngeachtet einer gröſseren Spannung der Saiten gleiche Vermehrungen der Gewichte gleiche Vermehrungen der Herabdrückung hervorbrachten. Inzwischen darf die Drehung gleichfalls nicht so stark seyn, daſs die Theile des Körpers eine andere Lage bleibend annehmen *(take a set)*, weil sonst n einen andern Werth erhält.

Der eine der erwähnten Versuche, wonach ein Messingdraht Nr. 7. von 9 Z. bei gleicher Länge des Cylinders für 20 Schwingungen 110, ein anderer von 36 Z. Länge hierzu 222 Secunden erforderte, ergiebt, daſs für ein Verhältniſs der Zeiten = 1 : 2 ein Verhältniſs der Längen = 1 : 4 gehört, oder aber die Zeiten

stehen im Verhältnisse der Quadratwurzeln der Längen, ein Satz, welchen Coulomb durch viele andere Versuche bestätigt fand[1]. Dafs ferner die Dicken der elastischen Fäden einen Unterschied herbeiführen, liegt schon in der Natur der Sache. Nimmt man aus den Versuchen die Resultate mit Drähten von gleicher Länge und gleicher Belastung, die Dicke derselben durch ihr Gewicht $= p$ ausgedrückt, so geben bei Eisendraht

Nr. 12 . . $p = 5$ gr., $T = 242$ Sec.
— 7 . . $p' = 14$ —, $T' = 85$ —
— 1 . . $p'' = 56$ —, $T'' = 23$ —

Sind die Gewichte und Schwingungszeiten einander umgekehrt proportional, so müssen die Producte pT, $p'T'$ . . . eine constante Gröfse geben. Wirklich ist $pT = 1210$; $p'T' = 1190$; $p''T'' = 1288$. Nimmt man aus allen das arithmetische Mittel $= 1230$, und sucht hiernach die Gewichte, so ist

Nr. 12 . . $p = \frac{1230}{242} = 5{,}08$ gr.
— 7 . . $p' = \frac{1230}{85} = 14{,}47$ —
— 1 . . $p'' = \frac{1230}{23} = 53{,}49$. —

Die Abweichungen sind so geringe, dafs man sie als Fehler der Beobachtungen ansehen kann, insbesondere da der Unterschied bei Nr. 1 am stärksten ist, welcher Draht übrigens durch das Gewicht wahrscheinlich nicht hinlänglich gespannt wurde. Nimmt man unter der Voraussetzung der Richtigkeit dieses Gesetzes Drähte des nämlichen Metalles von gleicher Länge, so ist das Gewicht p derselben dem Quadrate der Durchmesser proportional, und somit sind die Zeiten der Oscillationen diesen Quadraten umgekehrt proportional, und da nach der oben aufgestellten Formel die Gröfse n den Quadraten der Zeiten gleichfalls umgekehrt proportional ist, so steht sie auch im umgekehrten Verhältnisse der 4ten Potenz der Durchmesser der Drähte[2]. Heifst also die Länge des Drahtes l, der Durchmesser desselben d und wird ein von der Steifheit des Metalles abhängiger Coefficient durch μ bezeichnet, so ist

$$n = \frac{\mu d^4}{l} \text{ also } \mu = \frac{n l}{d^4}.$$

wonach μ für ein beliebiges Metall gefunden werden kann, wenn

---

1 Ein gleiches Gesetz fand Chladni bei den Transversalschwingungen elastischer Stäbe. Vergl. *Schall.*

2 Auf eine andere Weise ist dieser Satz bewiesen in John Leslie Elements of Nat. Phil. Edinb. 1824. 8. I, 244.

man n l und d in einem gegebenen Falle gefunden hat. Wird dieses auf den oben angegebenen zweiten Fall mit Eisendraht Nr. 12 angewandt, worin $P = 2$ ℔, $a = 9{,}5$ Lin. und für 20 Oscillationen $T = 242''$ also für eine Oscillation $T = 12'',1$ waren, und werden diese Werthe in die Formel $n = \frac{P\,\pi^2\,a^2}{4\,g\,T^2}$ substituirt, die Linie als Einheit des Längenmaſses und das Pfund als Einheit des Gewichtes angenommen, so ist $n = \frac{1}{714{,}7}$ ℔, d. h. diese letztere Gröſse, lothrecht gegen einen Hebelarm von der Länge einer Linie wirkend, würde eine Saite von der gegebenen Länge und Beschaffenheit durch einen Bogen von der Länge einer Linie, den Kreis selbst mit dem Halbmesser = 1 Lin. gezogen, um ihre Axe zu drehen im Stande seyn. Wollte man sie aber um einen Bogen $= X^\circ$ vermittelst eines Hebelarmes $= R$ drehen, so würde die dazu erforderliche Kraft $= \frac{\pi\, n\, X^\circ}{180\; R} = \frac{\pi\; X^\circ}{714{,}7 \times 180\, R}$ ℔ seyn.

Ist hiernach n bekannt, so wird μ aus der angegebenen Formel leicht gefunden, sobald der Durchmesser des Drahtes $= d$ bestimmt ist, dessen Gröſse entweder durch unmittelbare Messung gefunden, oder aus der Länge desselben, seinem Gewichte und dem specifischen Gewichte der Substanz berechnet werden kann.

Als Beispiel der Rechnung diene das von Biot[1] aus Coulomb's Versuchen genau berechnete. Um hierbei zuvörderst den Durchmesser des angewandten Drahtes aus seinem Gewichte zu finden, sey A das Gewicht eines Kubikfuſses der Masse, woraus der Draht besteht, oder zur Reduction auf Linien als Einheit von $(144)^3$ Lin. Der Draht, als Cylinder betrachtet, hat ein Volumen $= r^2 \pi L$, wenn L die Länge, r den Halbmesser und π die Verhältniſszahl des Kreises bezeichnet. Hiernach ist

$$r^2 \pi\, L = \frac{(144)^3\, p}{A} \text{ und also } r = \sqrt{\frac{(144)^3\; p}{\pi\, L\, A}}$$

wenn p, das Gewicht des Drahtes, und A in gleichen Gewichtstheilen genommen werden. Von dem Eisendraht Nr. 12 wogen 6 F. oder 864 Lin. 5 grains = p. Ein Kubikfuſs Eisen wiegt etwa 540 ℔, wonach (das ℔ = 16 Unzen, die Unze = 8 gros,

1 a. a. O. S. 498.

das gros = 72 grains genommen) $A = 540 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 72$ grains beträgt. Dieses substituirt giebt

$$r = \sqrt{\frac{5 \cdot (144)^3}{3,14 \cdot 864 \cdot 540 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 72}} = \tfrac{1}{30} \text{ Lin.}$$

also ist $d = \frac{1}{15}$ Lin. Die Länge l des im Versuche gebrauchten Drahtes betrug 9 Z. oder 108 Lin. Diesen Werth, und den oben für n gefundenen $= \frac{1}{715}$ substituirt ist

$$\mu = \frac{n\,l}{d^4} = \frac{1}{715} \cdot \frac{108}{(\frac{1}{15})^4} = \frac{15^4 \cdot 108}{715} = 7646{,}9.$$

Für jeden andern Eisendraht von der nämlichen Beschaffenheit, aber vom Durchmesser $= d'$ und von einer Länge $= l'$ wäre also

$$n = 7646{,}9\,\frac{d'4}{l'}.$$

Sucht man auf die nämliche Weise, wie dieses oben für Eisen geschehen ist, auch für Messing den Werth von n', so war für den Messingdraht Nr. 12 mit einem Cylinder von 2 ℔ Gewicht belastet

$a = 9{,}5$ Lin.; $P = 2$ ℔; $T = 22{,}1$ Sec.

Dieses in die Formel substituirt, wird

$$n' = \frac{P\,\pi^2\,a^2}{4\,g\,T^2} = \frac{1}{2384{,}2}.$$

Das Verhältniſs von n zu n′ ist also 2384,2 : 714,7 oder nahe 3,34 : 1. d. h. man bedarf nur $\frac{1}{3,34}$ des Gewichtes, um einen Messingdraht unter gleichen Bedingungen auf gleiche Weise um seine Axe zu drehen, als für einen Eisendraht erforderlich ist. Die Elasticität des Eisendrahtes ist also rücksichtlich der Stärke des Widerstandes 3,3mal gröſser als des Messingdrahtes, obgleich seine absolute Festigkeit nur 1,7mal gröſser gefunden war.

Es ist oben [1] schon angeführt, daſs die elastischen Körper, wenn sie eingedrückt, gebogen oder gedreht werden, nicht allezeit mit vollkommener Elasticität und ohne einigen Verlust zur früheren Lage ihrer Theile wieder zurückkommen, eine Erscheinung, welche mit Grunde aus einer Reibung ihrer Theile an einander bei der Herstellung der ursprünglichen Lage, und aus der hierzu verwandten Kraft abgeleitet wird. So lange indeſs die einen Körper verändernde Kraft das Maſs seiner Ela-

---

1 S. *allgemeine Betrachtungen.*

sticität nicht übersteigt, wird er die ursprüngliche Lage seiner Theile wieder erhalten, soweit dieses durch Messung bestimmt werden kann. Diesemnach muſs, rücksichtlick auf die Elasticität gegen Drehung, ein an einer lothrecht aufgehangenen Saite oscillirender Körper stets kleinen Bogen durchlaufen, und endlich auf seinem ursprünglichen Orte zum Stillstande kommen. Coulomb untersuchte bei einem Eisendrahte von No. 1, welcher 6,5 Z. lang und mit einem Gewichte von 2 ℔ belastet war, die Abnahme der durchlaufenen Bogen, indem er die Oscillationen zählte, nach denen der von der Spitze des Zeigers am Cylinder durchlaufene Bogen um 10° vermindert wurde, wobei er von einem Drehungswinkel = 90° ausging, die Oscillationen zählte, bis dieser = 80° wurde, dann denselben weiter bis 45° abnehmen lieſs, und abermals die Oscillationen zählte, bis derselbe = 35° wurde u. s. w. Hierdurch erhielt er folgende einander zugehörige Gröſsen:

Drehungswinkel	Zahl der Oscillationen.
90° 00′	3,5
45° 00′	10,5
22° 30′	23,0
11° 15′	46,0

Man sieht bald, daſs die für eine Abnahme von 10° erforderliche Zahl der Oscillationen bei kleinen Bogen der Gröſse dieser letzteren umgekehrt proportional ist, bei gröſseren Oscillationsbogen aber eine bedeutende Abweichung von diesem Gesetze zeigt. Der Thatsachen sind indeſs zu wenig vorhanden, um ein allgemeines Gesetz hierüber aufzufinden. Versuche mit einem Messingdrahte von gleicher Länge, Dicke und Belastung gaben ein gleiches Resultat. Es gehörten nämlich hierbei folgende Werthe einander zu:

Drehungswinkel	Zahl der Oscillationen
90° 00′	6
45° 00′	16
22° 30′	40
11° 45′	80

Uebersteigt die den Körper verändernde Kraft das Maſs seiner Elasticität, so wird ihren Theilen eine bleibende Veränderung ihrer Lage mitgetheilt (*take a set*), und sie kommen nicht wieder zu ihrer ursprünglichen Stelle zurück, wenn die Kraft zu wirken aufhört, zerbrechen aber, wenn ihre Wirkung

fortdauert. COULOMB drehete den oben beschriebenen Eisendraht zunehmend mehr um seine Axe, liefs nach jeder neuen Drehung den Cylinder an demselben oscilliren, bis er zum Stillstande kam, drehete ihn dann abermals um seine Axe, bemerkte jederzeit den Stillstandspunct und dessen Abweichung vom vorigen Standpuncte, und fuhr damit fort, bis der Draht brach. Die hierbei erhaltenen Gröfsen zeigt folgende Zusammenstellung, worin P den ganzen Umfang des Kreises bedeutet:

Grade der Drehung.	Abweichung des Zeigers vom Anfangspuncte.	Summe der Abweichungen vom ursprünglichen Standpuncte an.	Grenze der Elasticität der Saite.
$\frac{1}{2}$ P	8°	8°	172°
P	50	58	310
2 P	310	P + 8	P + 50
3 P	P + 300	2 P + 308	P + 60
4 P	2 P + 290	5 P + 238	P + 70
5 P	3 P + 280	9 P + 158	P + 80
6 P	4 P + 260	14 P + 58	P + 100
10 P	8 P + 240	22 P + 298	P + 120
14 P	Zerbrechung		

Der Draht brach in der Mitte, und hatte die Gestalt eines aus zwei Strängen gewundenen Seiles. Die letzte Columne ist durch Subtraction der zweiten von der ersten erhalten, und giebt an, wie weit der Zeiger beim Stillstande hinter seinem ursprünglichen Stande zurückblieb. Aehnliche Versuche mit dem schon erwähnten Messingdrahte gaben folgende Resultate:

Grade der Drehung	Abweichung des Zeigers vom Anfangspuncte.	Summe der Abweichungen vom ursprünglichen Standpuncte.	Grenze der Elasticität der Saite.
2 P	160°	160°	P + 200°
4 P	2 P + 0	2 P + 160	2 P + 0
6 P	3 P + 300	6 P + 100	2 P + 60
10 P	7 P + 300	14 P + 40	2 P + 60
20 P	17 P + 340	32 P + 20	2 P + 20
28 P	Zerbrechung		

In diesem Sinne ist also die Elasticität des Messings gröfser als die des Eisens.

So wie die Erforschung der Elasticität der verschiedenen Körper, welche sie gegen eine ausdehnende oder zusammendrückende und eine beugende Kraft ausüben, vorzüglich deswegen vielfach angestellt ist, um die Lasten zu kennen, welche dieselben auf die eine oder die andere Weise zu tragen vermögen [1], so hat man auch diejenige Stärke der verschiedenen Körper untersucht, womit sie einer sie um ihre Axe drehenden Gewalt Widerstand leisten. Inzwischen sind Versuche hierüber ungleich seltener als diejenigen, welche zu Erforschung der absoluten, relativen und rückwirkenden Festigkeit der Körper angestellt wurden, und sie machen meistens nur eine unbedeutende Zugabe zu diesen aus [2]. Die wichtigsten und am meisten brauchbaren Resultate werden unten bei den praktischen Anwendungen benutzt werden. Im Allgemeinen ist das Verhalten der Körper hierbei so, dafs die mittleren Theile ruhen, die äufsern aber um so weiter verrückt werden, je gröfser ihr Abstand vom Centrum ist. Denkt man sich aber gröfserer Bestimmtheit wegen einen Cylinder, und nimmt an diesem eine Reihe von Theilchen, welche mit der Axe parallel laufen, so müfste diese durch die Drehung verlängert werden, welches auch allerdings der Fall ist. Wegen des Widerstandes aber, welchen sie einer solchen Ausdehnung nach den Gesetzen der Cohäsion entgegensetzen, drücken sie die mittleren zusammen, und es findet also im Allgemeinen eine Verkürzung Statt. Nach Young [3] wird hierbei ein Draht um den vierten Theil soviel verkürzt, als die äufseren Theile sich verlängern müssen, wenn die ganze Länge unverändert bliebe, wonach die Kraft dem Cubus des Drehungswinkels proportional seyn müfste. Da dieser aber nur der einfachen Potenz des Drehungswinkels der Erfahrung nach proportional ist, so folgert er hieraus, dafs keine absolute Längenausdehnung der Theile, sondern hauptsächlich

---

1 S. *Cohäsion.*

2 Für die Literatur dienen die unter dem Artikel *Cohäsion* angegebenen Werke über die Festigkeit der Körper Th. II. Ueber das Verhalten des Gufseisens s. Tredgold practical Essay on the strength of cast Iron. p. 96.

3 Lectures on Nat. Phil. I. 141.

oder bloſs eine laterale Verschiebung derselben, eine Ueberwindung der Starrheit, statt findet.

B. Elasticität der tropfbaren Flüssigkeit.

Die Frage, ob die tropfbaren Flüssigkeiten, und unter ihnen namentlich das Wasser elastisch seyen, hat die Gelehrten von den frühesten Zeiten an beschäftigt. Wenn man nach theoretischen Gründen berücksichtigt, daſs die Körper ihre Natur und Wesen nicht ändern, wenn sie auch durch stets vermehrte Wärme zuerst stärker ausgedehnt und dann tropfbar flüssig werden, so muſs man sie hiernach schon für elastisch halten, weil gar kein Grund vorhanden ist, warum sie diese ihnen im Zustande der Festigkeit zukommende Eigenschaft durch den Uebergang zur tropfbaren Flüssigkeit verlieren und als expansibele Flüssigkeiten in einem so hohen Grade wieder erhalten sollten. Man hat indeſs nicht sowohl auf diese Weise argumentirt, als vielmehr die Frage auf dem Wege des Experimentes zu beantworten gesucht, wahrscheinlich weil Franz Baco von Verulam auf diesem vorangegangen war. Dabei ist es übrigens unverkennbar, daſs die Theorieen, woraus Cartesius und Newton die Elasticität der expansibelen Flüssigkeiten zu erklären versuchten [1], zugleich auf die Frage führen muſsten, ob auch den tropfbaren Flüssigkeiten diese Eigenschaft zukomme, da man dieselbe bei diesen ungleich weniger beobachtet, als bei jenen, oder sie vielmehr ohne künstliche Vorrichtungen gar nicht wahrnimmt. Hauptsächlich aber führten zwei bekannte Phänomene zur näheren Untersuchung dieser Sache, nämlich erstens die Beobachtung das Ricochettirens solcher Körper, welche unter einem spitzen Winkel gegen die Oberfläche des Wassers geworfen werden, und zweitens die Sinneswerkzeuge des Gehörs der Fische, welche ohne eine Fortleitung der Schallwellen durch das Wasser ohne Nutzen seyn würden, woraus man also indirect die Elasticität desselben folgerte. Indem dieser letztere Gegenstand zunächst zur Lehre vom Schalle gehört [2], so übergehe ich ihn hier ganz, um so mehr, als die Frage selbst bereits auf einem andern Wege hinlänglich entschieden ist. Ob

---

1 Vergl. *Expansibilien.*

2 S. *Schall; Fortpflanzung desselben durch tropfbare Flüssigkeiten.*

das Ricochettiren der Körper auf der Wasserfläche die Elasticität der tropfbaren Flüssigkeiten beweise, darüber ist lange gestritten. Vorzüglich suchte BELLOGRADI [1] die Elasticität des Wassers sowohl hieraus, als auch aus dem Aufspringen der Wassertropfen von einer Wasserfläche oder einem Marmorblocke, worauf sie herabfallen, darzuthun. Hiergegen erklärte sich SPALLANZANI [2], sprach dem Wasser fast alle Elasticität ab, erklärte das Abprallen fester Körper vom Wasser aus dem Widerstande des letzteren und dadurch veränderte Richtung in der Bewegung der ersteren, das Emporfliegen von Wassertropfen, wenn Wasser oder feste Körper in diese Flüssigkeit geworfen werden, aus dem Seitendrucke der verdrängten einzelnen Schichten, das Aufspringen von Wassertropfen aber von einer Marmorplatte, auf welche man sie herabfallen läfst, aus der Elasticität der letzteren allein. Obgleich SPALLANZANI seine Behauptungen mit den Resultaten seiner Versuche unterstützte, wonach geworfene Körper auch von weichem Thone, zähem Schlamme und Eiergelb abprallen, so begreift man doch bald, dafs dieses Argument eigentlich nichts sagt, weil die letzteren Körper gleichfalls elastisch seyn können und vielmehr seyn müssen, insofern ihnen eine Menge Wasser beigemischt ist. Dem Aufspringen der Wassertropfen von Steinen, worauf sie fallen, stellte SPALLANZANI das Argument entgegen, dafs auch unelastische Körper durch eine gespannte Saite zurückgeworfen würden, und er setzte die Ursache dieser Wirkung also eigentlich in die Elasticität der Steine. Allein die Wassertropfen springen auch von einer Wasserfläche zurück, welches zwar zuweilen, aber nicht allezeit eine Folge der comprimirten Luft ist, und die Art und Höhe ihres Aufspringens ist überhaupt eine ganz andere, als wenn nur wenig elastische Bleikugeln z. B. von einer Glasplatte zurückspringen, wodurch die Elasticität der Flüssigkeiten schon genügend erwiesen ist [3].

Rücksichtlich auf die Versuche, wodurch man die Elasticität des Wassers anfangs blofs zu beweisen, später die Stärke derselben zu messen suchte, sind die wichtigsten derselben

---

1 Della Riflessione de' Corpi dall Acqua u. s. w. In Parma 1753. 4.

2 Physikalische und mathematische Abhandlungen. 5te Abh.

3 Ueber die Herleitung des gleichen Niveau's tropfbarer Flüssigkeiten in communicirenden Röhren aus ihrer Elasticität vergleiche Art. *Hytrostatik.*

schon früher erwähnt [1]. Es wird hier also genügen, nur die erhaltenen Resultate anzugeben, um daraus die Stärke der Elasticität tropfbarer Flüssigkeiten zu finden. Zu den Versuchen von Baco, der *Florentiner Akademie,* Boyle, Musschenbroek u. a., welche gar kein Resultat gaben oder vielmehr das Wasser als völlig unelastisch zeigten, gehören auch diejenigen, welche Franc de Lanis [2] in Vorschlag brachte. Man soll ein hohes gläsernes Gefäfs mit Wasser füllen, worin kleine Kügelchen von unmerklich gröſserem spec. Gew. als das Wasser ist, gerade niedersinken, dann eine Thierblase überbinden und das Wasser mit dem Finger zusammendrücken, damit es dichter werde, und die Kügelchen aufsteigen. Will man diesen Versuch auch sinnreich nennen, so ist er doch in der hier angegebenen Art ganz unzulässig und auch keiner Verbesserung fähig, weil es keinen bekannten festen Körper giebt, welcher weniger compressibel ist als das Wasser, und daher sein spec. Gew. gegen das Wasser in demselben befindlich auf die hier angegebene Weise ändern könnte.

Die ersten Versuche, welche richtige Resultate gaben, sind die um 1762 durch Canton angestellten [3]. Er wurde dabei durch eine neuerdings bei der Construction der Thermometer wieder in Anregung gebrachte Beobachtung geleitet, indem er fand, daſs Flüssigkeiten in einer Röhre mit einer Kugel höher standen, wenn der Apparat luftleer war, als wenn die Luft auf die Flüssigkeit drückte, wobei er annahm, daſs diese Verminderung des Volumens eine Folge des Luftdruckes gegen dieselbe sey, da sie vielmehr hauptsächlich der Elasticität des Glases beizumessen ist. Inzwischen bestimmte diese Beobachtung die Methode, welche Canton bei seinen Versuchen befolgte, indem er eine Kugel mit einem Rohre, welches in ein Haarröhrchen endete, und wobei das Inhaltsverhältniſs der einzelnen Theile genau bekannt war, mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten füllte, unter eine Glasglocke setzte, und unter dieser die Luft erst exantlirte, dann comprimirte, um die Vermehrung und Verminderung des Volumens als Folge des aufgehobenen oder verstärkten Luftdruckes kennen zu lernen. Auf

---

1 S. Compressionsmaschinen für Wasser. Th. II. S. 220 ff.
2 Magisterium naturae et artis. Brixiae 1686. Fol. p. 176.
3 Phil. Trans. LII. II. 641.

diese Weise fand Canton, daſs ein Druck, doppelt so stark als der atmosphärische, das Volumen des Wassers um $\frac{1}{10870}$ seines Volumens verringerte, ohne daſs ein Unterschied bemerkbar war, das Wasser mochte lufthaltig seyn oder nicht. Canton will ferner gefunden haben, daſs das Wasser im Winter (also bei niedrigerer Temperatur) sich stärker zusammendrücken lasse als im Sommer, welches bei Weingeist und Baumöl sich gerade umgekehrt zeigte. Bei 27,66 P. Z. Barometerstand und 10° C. Temperatur erhielt er durch den Druck *einer* Atmosphäre folgende Verminderungen:

Bei	Weingeist	—	0,000066	des	Volumens
—	Baumöl	—	0,000048	—	—
—	Regenwasser	—	0,000046	—	—
—	Seewasser	—	0,000040	—	—
—	Quecksilber	—	0,000003	—	—

Es ergiebt sich hieraus, daſs die dichtesten Flüssigkeiten am wenigsten zusammendrückbar sind, jedoch ohne ein bestimmtes Verhältniſs zwischen den Dichtigkeiten und den Graden der Compressibilität. Daſs übrigens die Flüssigkeiten in so fern vollkommen elastisch sind, als sie beim nachlassenden Drucke ihr voriges Volumen wieder einnehmen, ist oben schon erwähnt.

Canton's Versuche haben lange Zeit als einzige Autorität gegolten, und verdienen diesen Vorzug mit Recht, indem sie durch einige spätere nicht erreicht, durch die neuesten aber nur bestätigt sind. Zu erwähnen sind vorzüglich die durch Herbert [1] und die noch viel bekannteren durch Abich angestellten Versuche, welche Zimmermann [2] beschrieben kat. Die Maschine, deren er sich hierbei bediente, ist früher [3] schon beschrieben und dabei gezeigt, daſs mit derselben unmöglich genaue Resultate zu erhalten waren, obgleich der Herausgeber der Schrift die Unvollkommenheiten des Apparates und die hieraus nothwendig entspringenden Fehler zu entschuldigen sucht. Es würde daher überflüssig seyn, mehr als die Resultate, und diese bloſs des geschichtlichen Interesses wegen, her-

---

1 Diss. de aquae aliorumque nonnullorum fluidorum elasticitate. Viennae 1774. 8.

2 Ueber die Elasticität des Wassers theoretisch und historisch entworfen von E. A. W. Zimmermann. Leip. 1779.

3 S. *Compressionsmaschine* Th. II. S. 223.

zusetzen, welche ohnehin nicht mit den durch Canton erhaltenen übereinstimmen. Abich fand nämlich die Zusammendrückung von 26,75 Kub. Zoll

	durch den Druck von	
	745,181 ℔	2509,591 ℔
bei Brunnenwasser . .	$\frac{1}{142,68}$	$\frac{1}{35,667}$
— satur. Salzwasser .	$\frac{1}{103,43}$	$\frac{1}{33,909}$
— Milch	$\frac{1}{215,21}$	$\frac{1}{38,695}$
— Branntwein . . .	$\frac{1}{224,76}$	$\frac{1}{45,66}$

Wenn man annimmt, daſs die Zusammendrückungen sich wie die Gewichte verhalten, so würde der Druck *einer* Atmosphäre das Wasser um 0,000075 seines Volumens comprimiren, also weit mehr, als Canton gefunden hat, wie dieses aus der Beschaffenheit des gebrauchten Apparates nothwendig folgt. Daſs aber Branntwein weniger und saturirte Salzsolution mehr compressibel seyn sollte als Brunnenwasser, streitet nicht bloſs gegen Canton sondern auch gegen jede Theorie, und überhaupt ist die Mangelhaftigkeit der Versuche und ihrer Resultate ausführlich geprüft durch F. G. Busse [1].

Die neuesten Versuche, die Gröſse der Elasticität des Wassers zu finden, sind durch Perkins und Oerstedt angestellt. Ersterer bediente sich hierzu des von ihm sogenannten *Piezometer's*, dessen doppelte Einrichtung am gehörigen Orte beschrieben ist [2]. Mit dem ersteren, nach seiner Meinung unvollkommener eingerichteten Apparate glaubte er gefunden zu haben, daſs die Gröſse der Zusammendrückung des Wassers durch 100 Atmosphären nahe 0,01 seines Volumens betrage, allein Roget [3] zeigt durch eine genauere Berechnung, daſs sie nur 0,0047 beträgt, und also nur um 0,000001 von Canton's Bestimmung abweicht. Nach Gilbert's [4] Berechnung beträgt die gesuchte Gröſse 0,0048, also findet auch hier nur eine Ab-

1 Gang und Gröſse der Weichheit des Wassers aus den Versuchen des Hrn. Zimmermann gefolgert. Leipz. 1806. 8. Oerstedt bei Schweigg. J. XXI. 348 will durch Verbesserung der Rechnungsfehler mehr Uebereinstimmung in die Versuche gebracht, und die Zusammendrückung fast dreimal so groſs als Canton gefunden haben, welches aber mit seinen spätern Versuchen nicht übereinstimmt.

2 S. *Compressionsmaschine* Th. II. S. 224.

3 Ann. of Phil. N. S. II. 135.

4 Ann. d. Phys. LXXII. 176.

weichung von 0,000002 statt, und es spricht sehr für die Genauigkeit beider Versuche, dafs sie nach so ganz ungleichen Methoden angestellt, so übereinstimmende Resultate gegeben haben. Die späteren, mit dem verbesserten *Piezometer* angestellten Versuche gaben dagegen durch einen Druck von 329 Atmosphären eine Vermehrung des Gewichtes von 3,5 Procent, welches eine Zusammendrückung durch 100 Atmosphären von fast 0,01064 des Volumens giebt. Diese letztere übertrifft die erstere um mehr als das Doppelte, und mufs daher fehlerhaft seyn, auch ist es leicht möglich, dafs beim Eindringen des Wassers in den Cylinder Luftbläschen in den Ecken zurückblieben, welche man seiner Undurchsichtigkeit wegen nicht gut bemerken konnte. Perkins's Apparat steht auf allen Fall dem einfachen und leicht zu handhabenden Canton's nach. Wirklich sind auch die von diesem erhaltenen Resultate vollständig durch diejenigen bestätigt, welche Oerstedt [1] mit dem von ihm sehr zweckmäfsig construirten Apparate erhalten hat, wonach die Gröfse der Volumensverminderung des Wassers der comprimirenden Kraft directe proportional gefunden ist, und für 100 Atmosphären 0,0047 beträgt, das ursprüngliche Volumen als Einheit angenommen.

III. Theorie.

Da die bisher erörterten Thatsachen darthun, dafs die Elasticität der Körper auf der Lage ihrer Theile und ihrem gegenseitigen Verhältnisse beruhe, wir aber weder die Elemente der Körper noch auch ihre Abstände von einander und die individuelle Art ihrer Zusammenfügung genau kennen, so ist nur geringe Hoffnung vorhanden, dafs es uns gelingen sollte, das Wesen dieser Eigenschaft genau zu erforschen. Indefs können wir dieselbe mit andern Erscheinungen und erkannten Naturgesetzen in Uebereinstimmung bringen.

Früher leitete man diese Eigenschaft von der Luft her, welche in den Zwischenräumen der Körper eingeschlossen seyn, und durch ihre Reaction gegen die zusammendrückenden Kräfte die Erscheinungen der Elasticität hervorbringen sollte. Boyle, Derham, Hawksbee und Musschenbroek prüften indefs die verschiedensten Körper im luftleeren Raume, und fanden sie

1 S. *Compressionsmaschine* Th. II. S. 225.

daselbst auf gleiche Weise elastisch [1]. Cartesius [2] nahm seinem Systeme gemäſs einen feinen Aether an, welcher durch seine Strömungen Zwischenräume in den Körpern gebildet haben, und nach der Beugung oder Zusammendrückung derselben gegen die feste Masse stoſsen und somit Wiederherstellung der früheren Form veranlassen sollte. Spätere Anhänger dieser Hypothese, als Malebranche, Mersenne, Daniel-[3] und Johann-Bernoulli [4] suchten dieselbe durch Annahme verschiedener Formen der Zwischenräume und eigenthümlicher Bewegungen des Aethers plausibeler zu machen. Andere hielten den Aether selbst für absolut elastisch, oder lieſsen, wie Daniel Bernoulli, hauptsächlich in Beziehung auf die Flüssigkeiten, die Elasticität durch die Wärme entstehen, welche den Aether in Bewegung setzen sollte. Musschenbroek [5] verwirft indeſs jede Erklärung aus einem Aether, theils weil ein solcher überhaupt nur hypothetisch sey, theils weil die versuchten Erklärungen überall innere Widersprüche enthielten, und er glaubt, daſs die Naturlehre noch nicht weit genug gebildet sey, um die Ursache dieser Eigenschaft befriedigend aufzufinden. Die Anhänger der Kantischen Dynamik leiteten die Elasticität von der Wirksamkeit der Dehnkraft ab, welche überhaupt eine zu groſse Annäherung ihren Theile gegen einander hindern soll; wogegen aber Gehler [6] erinnert, daſs eine solche Repulsivkraft mit der unbestreitbar existirenden Anziehungskraft nicht wohl verträglich sey.

Nach Gren [7] ist die Elasticität fester Körper eine unmittelbare Folge der Cohäsion, und er verwirft den Ausdruck *Elasticität*, um hierfür den andern, *Federkraft* einzuführen, weil elastische Körper die Fähigkeit haben sollen, zusammengedrückt zu werden, und dann durch Expansion ihren früheren Raum wieder einzunehmen, wie dieses bei den Gasarten der Fall ist. Die Hypothese übrigens, welche hiernach als physikalisches Gesetz aufgenommen werden müſste, daſs bei festen

1 Musschenbroek Introd. I. §. 766.
2 Princ. Phil. P. IV. prop. 132.
3 Hydrodyn. Sect. X.
4 Opp. III. 81.
5 a. a. O.
6 Wörterb. I. 701.
7 Grundriſs d. Naturlehre Halle 1797. 8. §. 126.

Körpern alle Erscheinungen der Elasticität von einer Ausdehnung ihrer Theile und dem Bestreben derselben, sich wieder zusammenzuziehen, abgeleitet werden müsse, eine Zusammendrückung oder Näherung dieser Theile aber ganz unstatthaft sey, hätte Gren bei näherem Nachdenken sich selbst leicht widerlegen können. Die bekannte Erfahrung an einer elfenbeinenen Billardkugel, welche auf eine ebene, mit Kienruſs gefärbte, harte Platte geworfen, flach gedrückt wird, erklärt er zwar daraus, daſs die Theile seitwärts ausweichen, und durch ihr nachfolgendes Zusammenziehen das Aufspringen der Kugel veranlassen sollen. Als Beweis hierfür dient ihm ein stählerner Ring, welcher bei der Zusammendrückung an den gedrückten Stellen Bogen mit gröſserem Radius bildet, also ausgedehnt wird, und durch Zusammenziehung der gedehnten Theile seine ursprüngliche Form wieder erhalten soll. Obgleich dieser Versuch keineswegs beweisend ist, um somehr, als bei der Erklärung desselben auf die kleineren, von den gröſseren um 90° entfernten, Bogen gar keine Rücksicht genommen wird, so läſst sich doch bei beiden Erscheinungen, sowohl an der Kugel als auch am Ringe, nicht darthun, daſs die Elasticität eben so gut eine Folge der Zusammenziehung als auch der Ausdehnung der weiter entfernten und der mehr genäherten Theile sey. Allein zuerst ist es schon an sich eine gewagte Voraussetzung, daſs z. B. bei einer aufgewundenen Stahlfeder oder einem gebogenen Stabe keine Zusammendrückung der Theile an der inneren Seite der Biegung stattfinden sollte, zweitens aber beweisen die zahlreichen Beispiele der Compression tropfbarer Flüssigkeiten und fester Körper hinlänglich, daſs die Theile derselben durch äuſsere mechanische Gewalt einander wirklich näher gebracht werden [1], endlich aber zeigt das Ausweichen der zusammengedrückten Theile bei zu starker Krümmung elastischer Körper genugsam, daſs ebensowohl eine Zusammendrükkung als eine Ausdehnung der Theile die nächste Ursache der Reaction elastischer Körper gegen äuſsere Gewalt sey, nicht zu gedenken des Beweises, welcher aus den Schwingungen elastischer klingender Körper folgt, indem diese auf keine Weise als bloſse Ausdehnungen anzusehen sind. Ohne Zweifel ist auch die beim Biegen elastischer Drähte freiwerdende Wärme, wenn die Bie-

1 Vergl. *Compressibilität.*

gung insbesondere schnell nach entgegengesetzten Seiten wiederholt und dadurch ein Zerbrechen bewirkt wird, eine Folge dieser Compression der Theile.

Parrot [1] leitet gleichfalls die Erscheinungen der Elasticität von der Cohäsion allein ab, jedoch in der Art, daſs er dabei allerdings Zusammendrückung annimmt, aber ohne Mitwirkung einer repulsiven Kraft, deren Existenz er überhaupt verwirft. Nach ihm wirkt nämlich die Cohäsion theils longitudinal, theils lateral; im ersten Falle bei der Entfernung der Theile von einander, im letzten dann, wenn die gedrückten Theile in die Zwischenräume der benachbarten gepreſst, und von diesen nach Art eines mit Fett bestrichenen Keiles wieder zurückgestoſsen werden. Es ist dann ferner die longitudinale Cohäsion bei gestreckten Körpern wirksam, die laterale beim Zusammenstoſsen elastischer Kugeln, beide vereint aber geben die Erscheinungen gebogener Stäbe. Die Kenntniſs der Elasticität der Körper gäbe uns, nach seiner Ansicht, dann ein Mittel, die Cohäsionsweite ihrer Elemente zu berechnen, wobei es aber auf die Kenntniſs der Gröſse dieser letzteren ankäme, welche bis jetzt noch nicht erforscht ist. Für die Erklärung der Elasticität fester Körper reicht dieses allerdings hin, die Elasticität flüssiger Körper ist aber ohne die Annahme einer Repulsivkraft unmöglich, wie sich weiter unten zeigen wird.

Daſs die Erscheinungen der Elasticität, mindestens bei festen Körpern, als eine Folge der veränderten Lage der Elemente, einer Verschiebung derselben, zu betrachten, wird jetzt allgemein angenommen, und ist als unmittelbares Resultat der Beobachtung anzusehen. Am ausführlichsten und gehaltreichsten ist diese Ansicht erläutert durch Biot [2], welcher sie zugleich mit der Hypothese über die verschiedene Lage und das gegenseitige Verhältniſs der Elementartheilchen in den Körpern, jenachdem sie expansibel, tropfbar flüssig oder fest sind, in Verbindung bringt. Hiernach können auch bei festen Körpern die Bestandtheile durch äuſsere mechanische Gewalt gezwungen werden, ohne Aufhebung der Cohäsion einander veränderte Seiten zuzuwenden, welches auf eine aus den Erscheinungen der Krystallisation entnommene Anziehung nach der Richtung

---

1 Grundriſs d. theor. Physik. I. 54.

2 Traité I. 468.

der Axen jener Elemente führen würde. Die Verschiebung derselben kann ferner allgemein seyn, oder partiell, indem einige in ihrer Lage bleiben, auch beruhet hierauf im Allgemeinen die Formänderung der Körper und ihre Verwandlung in Drähte, Bleche u. s. w. verbunden mit einer ungleichen Dichtigkeit des Gefüges, wie solches z. B. bei der Oberfläche der Drähte und bei getriebenen Blechen statt findet [1]. Ist die Einwirkung einer äufsern Gewalt minder stark, und eine gewisse Grenze nicht überschreitend, so werden die Theile nach einigen Oscillationen wieder in ihre frühere Lage zurückkommen, und dieses ist der eigentliche Charakter der Elasticität. BIOT hält hiernach die Elasticität für wesentlich verschieden von der Cohäsion, indem die letztere die absolute Kraft bezeichnet, womit die Theile der Körper an einander hängen; indefs ist nicht zu verkennen, dafs eben das Bestreben der Körper, den Zusammenhang der Theile in ihrer ursprünglichen Lage zu erhalten, und gegen die durch äufsere Kraft erlittene Veränderung wieder herzustellen, das Wesen der Elasticität ausmacht.

Ist die gegenseitige Lage der Theile durch Streckung, Beugung, Druck oder Drehung verändert, jedoch innerhalb der Grenze der Elasticität des individuellen Körpers, so dafs also bei nachlassender Kraft die anfängliche Form vollkommen wieder hergestellt wird, so müssen die in eine veränderte Lage gebrachten Theile bei der Herstellung der ursprünglichen Form die früher erlittenen Veränderungen rückwärts wieder herstellen, oder die nämlichen Räume wieder durchlaufen, welche sie bei der mitgetheilten Veränderung almälig durchlaufen haben. Insofern die Erscheinungen der Elasticität nothwendig auf das Gesetz der Attraction zurückgeführt werden müssen, da sie durch die Cohäsion bedingt sind und nicht statt finden, sobald die letztere zum Theil oder völlig überwunden ist, so könnte man argumentiren, dafs die Reaction durch die Elasticität mit der Zunahme der einwirkenden Kraft abnehmen müsse, wenn man annehmen wollte, dafs die Theile sich zunehmend von einander entfernten. Die Erfahrung ergiebt aber das Gegentheil, indem vielmehr innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität die Reaction der einwirkenden Kraft nach dem angegebenen, durch Hooke aufgefundenen und nachher allge-

1 Vergl. Robison Mech. Phil. I. 386.

mein bestätigten Gesetze direct proportional ist. Hieraus folgt, dafs keineswegs eine Entfernung der Theile von einander statt findet, welche auch bei Zusammendrückungen nicht einmal angedeutet wird, aber auch bei Streckungen und Beugungen nicht anzunehmen ist, insofern keine absolute Vermehrung des Volumens statt findet; vielmehr beruhen die Erscheinungen der Elasticität blofs auf einer Veränderung der Lage der Theile gegen einander und des mechanischen Gleichgewichts (équilibre stabile), worin sie sich im Zustande der Ruhe befinden [1], wahrscheinlich nicht ohne Einflufs der Richtung ihrer Axen gegen einander, wenn man anders gewisse Anziehungsaxen, nach der Analogie der Krystallisationsaxen, anzunehmen geneigt ist. Diese Ansicht weiter zu verfolgen würde indefs zu sehr in das Gebiet des blofs Hypothetischen führen. Wenn aber der Satz begründet ist, dafs die Reaction der Elasticität allezeit der die Form verändernden Gewalt proportional wächst, so mufs nach dem Aufhören der letzteren die Oscillation, vermöge welcher die Theile in den ursprünglichen Zustand des Gleichgewichts zurückkehrt, dieser Gewalt gleichfalls proportional seyn, und hiernach sind diese Oscillationen isochronisch, wie grofs auch der Bogen seyn mag, welchen die Theile dabei durchlaufen, ein hauptsächlich in der Lehre vom Schalle höchst wichtiger Satz. Dafs hierbei wegen der Reibung der Theile an einander der Oscillationsbogen der Theile nicht doppelt so grofs wird, als derjenige ist, durch welchen sie anfänglich bewegt wurden, somit also die Oscillationen endlich selbst aufhören müssen, ist oben schon bemerkt. Werden die Theile der Körper durch äufsere Gewalt über die Grenze der Elasticität hinausgerückt; so kommen sie nicht ganz in ihre frühere Lage zurück, und es mufs daher eine Verschiebung derselben statt gefunden haben, welche so sehr wachsen kann, dafs die Cohäsion zuletzt überwunden wird, und der Kör-

1 Nach Robison Mech. Phil. I. 379 befinden sich die Elemente der Körper, wenn diese in ihrem gewöhnlichen Zustande sind, in einem Zustande des Gleichgewichts anziehender und abstofsender Kräfte, indem sie sich entweder nur in einzelnen Puncten berühren, oder nach Boscovich durch attractive und repulsive Kräfte im Gleichgewichte gehalten werden. Nach Poisson in Mém. de l'Inst. An. 1812. p. 171 ist die Elasticität Folge einer Repulsion zwischen den Theilen (molécules) der Körper, welche sich blofs auf unmefsbare Fernen erstreckt.

per zerbricht, zerreifst. Nach dieser Ansicht mufs die Lage der Theile verändert werden durch das Hämmern, Drahtziehen, Walzen, zugleich auch durch das Härten, Anlassen, Kühlen u. dergl. m. und hiernach zeigen sich auch die Erscheinungen der Elasticität verschieden, obgleich es schwer ist, in den einzelnen Fällen den Einflufs dieser Veränderungen der Körper auf die Elasticität genau nachzuweisen. Indefs können wir mit Wahrscheinlichkeit schliefsen, dafs z. B. durch das Kühlen des Glases die Sprödigkeit vermindert, die Elasticität aber vermehrt werde, weil die Theile beim langsamen Erkalten eine regelmäfsigere Lage annehmen, und daher weiter über einander hingeschoben werden können, ehe die Grenze ihrer Cohäsion überschritten wird. Eben dieses findet statt bei dem Stahl, welchem ein schnelles Abkühlen (Härten) eine gröfsere Sprödigkeit ertheilt, die durch stärkeres Anlassen mehr und mehr vermindert wird.

Indefs dürfen wir solchen Schlüfsen hinsichtlich der Anordnung der Elemente der Körper nicht zu grofses Vertrauen schenken. Wären sie auf ein nothwendiges Naturgesetz gegründet, so müfsten die Erscheinungen allgemein seyn, welches keineswegs der Fall ist. Das Härten nämlich, welches von so grofsem Einflusse beim Stahl ist, zeigt eine unmerkliche oder gar keine Wirkung beim Golde, Silber, Zinn, Kupfer und andern verschiedenen Metallen, und was das merkwürdigste ist, es zeigt sich gerade das Gegentheil bei derjenigen Metallmischung, welche zu dem indischen Instrumente *Gong-gong*[1] genommen wird, und aus 78 Th. Kupfer mit 22 Th. Zinn besteht. Darcet nämlich und nach ihm Biot haben gefunden, dafs dasselbe nach langsamen Erkalten höchst spröde und brüchig ist, während es durch schnelles Ablöschen im Wasser hämmerbar wird[2]. Im ersten Falle ist sein Bruch glänzend weifs, wie Zinn, im letzteren kupferbraun. Indem nun auch die Bruchfläche des Stahls nach der Verschiedenheit der Härtung verschieden, und überhaupt anders ist, als beim Eisen, so führt dieses auf den Schlufs, dafs diese Verschiedenheit eine Folge der ungleichen Aggregation und Lage der Bestandtheile sey. Dafs aber eine verschiedene Behandlung der Körper eine solche Verschieden-

1 Vergl. *Gong-gong*.
2 Biot a. a. O. S. 515.

heit hervorbringe geht aus andern Erscheinungen hervor. So ist die Polarisation des Lichtes anders in nicht gekühltem, als in gekühltem Glase; mechanischer Druck, ungleiche Erwärmung bringt gleichfalls eine Veränderung hervor, auch fand Thenard den bis 60° C. erwärmten und langsam erkalteten Phosphor weiſs und durchsichtig, schnell abgekühlt aber wurde derselbe schwarz und undurchsichtig wie Kohle [1].

Daſs eine andere Aggregation der Elemente bei flüssigen Körpern als bei festen statt finde, geht unverkennbar aus den Erscheinungen ihrer Elasticität hervor. Berücksichtigen wir zuvörderst die tropfbar flüssigen, indem nur diese im oben angegebenen Sinne des Wortes elastisch genannt werden können, so sind diese zuerst in sofern vollkommen elastisch, als sie der Erfahrung nach gegen jeden auch noch so groſsen Druck mit einer dieser zusammendrückenden Kraft proportionalen reagiren, und beim Nachlassen desselben ihr früheres Volumen wieder erhalten. Daſs dieses Gesetz nicht bis ins Unendliche gültig seyn könne ist als wahrscheinlich anzunehmend schon oben bemerkt, und es scheint das absolut Unendliche überhaupt nicht in der Natur vorhanden zu seyn, weil sie selbst endlich seyn muſs, wenn gleich ihre Grenzen nicht überall aufgefunden werden können, und Parrot [2] schlägt daher nicht ohne Grund vor, das unmeſsbar Kleine *physisch unendlich klein* im Gegensatze des *geometrisch unendlich Kleinen* zu nennen. Die Erscheinung der Elasticität tropfbar flüssiger Körper können wir uns nach La Place, Biot [3] u. a. hypothetisch aus der verhältniſsmäſsigen Lage ihrer Bestandtheile gegen einander recht gut erklären. Nach Biot nämlich ist bei diesen das repulsive Princip (die Wärme) nicht in dem Grade thätig, als bei den gasförmigen, deren Theile sich daher stets mehr zu entfernen streben. Vielmehr wirken die Anziehungskräfte bei ihnen so stark, daſs sie ihr durch äuſseren Druck und die Wärme bedingtes Volumen stets beibehalten. Indeſs zeigen sich bei ihnen, so lange sie im Zustande der tropfbaren Flüssigkeit bleiben, keine Anziehungsgesetze, welche von der Gestalt und Lage ihrer Elementartheilchen abhängen, und welche mit der Entfernung derselben von einander weit schneller abnehmen, als die Anziehungen überhaupt. Die Theilchen werden sich daher anziehen,

---

1 G. XL. 342.

2 Theor. Physik. I. 65.

3 Traité I. 467. Vergl. *Festigkeit und Flüssigkeit.*

welches auch immer die gegenseitige Lage derselben rücksichtlich ihres Schwerpunctes und ihrer Attractions-Axen seyn mag, woraus dann eine freie Beweglichkeit ihrer Theile folgt. Biot leitet hieraus ferner den grofsen Widerstand her, welchen sie vermöge ihres repulsiven Princips jeder zusammendrückenden Kraft entgegen setzen, und welcher hiernach, eben wie der Erfahrung gemäfs, jederzeit der Zusammendrückung direct proportional ist, bis sie durch dieselbe in eine unveränderliche Lage kommen oder fest werden. Hiermit würde nämlich die kürzlich beobachtete Erscheinung zusammenhängen, dafs aus manchen Flüssigkeiten durch heftigen mechanischen Druck Krystalle ausgeschieden werden sollen. Bei ihnen kann daher, so lange sie tropfbar flüssig sind, weder eine Biegung noch eine Drehungselasticität statt finden, insofern die Anziehungsgesetze ihrer Theilchen in jeder Lage derselben gleich sind, sie daher auch kein Bestreben äufsern, eine veränderte Lage dieser Theilchen wieder herzustellen, und ihre Elasticität kann sich daher blofs gegen einen Druck äufsern, welcher jene einander absolut näher zu bringen strebt, als dem Verhältnisse ihrer Attraction und Repulsion angemessen ist, mithin sind sie blofs gegen absolute Zusammendrückung in einen engeren Raum elastisch, und kehren zu ihrem früheren Volumen, als dem stabilen Gleichgewichte ihrer repulsiven und attractiven Kraft angemessen, zurück, sobald dieser Druck aufhört. Dieses kann indefs nur so lange statt finden, bis ihre Theile entweder durch den Druck selbst eine feste Lage gegeneinander annehmen, worüber uns indefs bis jetzt genügende Erfahrungen fehlen, oder bis sie durch anderweitige Bedingungen, hauptäschlich durch Entziehung der Wärme, eine feste, entweder äufserlich erkennbare regelmäfsige Lage ihrer Theile annehmen (krystallisiren) oder anscheinend unregelmäfsige Lage derselben erhalten, in welchem Falle sie den Gesetzen fester Körper folgen [1].

Durch diese Demonstration ist allerdings die Erscheinung so bezeichnet, wie die Erfahrung sie darbietet, wobei jedoch die Bemerkung nicht entgehen kann, dafs sowohl über die Lage und Anziehung der Elemente, als auch über den Conflict attractiver und repulsiver Kräfte etwas angenommen wird, was nicht auf unmittelbare Erfahrung gegründet ist. Zu den letzte-

1 Vergl. Young Lectures on Nat. Phil. I. 136.

ren muſs man indeſs nothwendig seine Zuflucht nehmen, wenn man consequent argumentiren will. Denn wenn man annimmt, daſs die Elemente der Flüssigkeiten einander durch mechanischen Druck mehr genähert, oder daſs die einen mehr in die Zwischenräume der andern eingedrückt sind, so müssen sie nothwendig bei der auf Erfahrung beruhenden gleichmäſsigen Lage aller Theile gegen einander durch Repulsivkraft wieder zurückgestoſsen werden, ohne daſs bloſse anziehende Kräfte dieses Phänomen zu erklären vermögen[1].

IV. Praktische Anwendungen.

Eine vorzügliche Anwendung der vorhergehenden Betrachtungen geben die aufgefundenen Gesetze, nämlich daſs die Elasticität oder die elastische Kraft der Körper einer auf sie einwirkenden, ausdehnenden, beugenden oder zusammendrückenden Kraft so weit proportional ist, bis die dadurch erzeugte Veränderung derselben über die Grenze ihrer Elasticität hinausgeht, und daſs eine über diese Gränze hinausgehende, auf die Körper fortdauernd wirkende Gewalt dieselben allmälig und mit zunehmender Geschwindigkeit, oder auch durch öftere Wiederholung endlich zerstören muſs. So wird ein Geschütz, wenn es mit einer über die Grenze seiner Cohäsion hinausgehenden Ladung geladen wird, zwar nicht das erstemal, wohl aber bei wiederholten Schüssen zerrissen werden, und ein auf gleiche Weise übermäſsig beschwerter Balken zwar nicht augenblicklich, aber mit der Zeit brechen, nachdem seine Biegung fortwährend zugenommen hat[2]. Man darf daher beim Maschinenwesen keinen Theil über die Grenze seiner Elasticität hinaus belasten.

Körper, welche eine nicht groſse Elasticität, aber bedeutende Härte haben, können unter geeigneten Umständen groſse Lasten tragen, weil sie der beugenden Gewalt nur wenig nachgeben, wenig herabsinken, und nicht leicht über die Grenze ihrer Cohäsion hinaus gebracht werden. Wirkt aber eine ihre Sprödigkeit treffende Gewalt auf sie, dann zerbrechen sie leicht.

---

1 Eine, nach meiner Ansicht, ungenügende Erklärung des Wesens der Elasticität von Barruel in Journ. de Ph. XLIX. 251 ausgezogen in Journ. de l'École polyt. cah. XI. 295 erwähne ich eben deswegen bloſs beiläufig.

2 Tredgold on cast Iron. 8. 5.

So wird eine Glassäule und ein Balken von sprödem Gufseisen eine grofse Last zu tragen vermögen, beide aber können durch einen Schlag oder Stofs leicht zerspringen[1].

Um die Stärke der Elasticität, hauptsächlich in Hinsicht auf den Widerstand, welchen die Körper vermöge dieser ihrer Eigenschaft einer ihre Form verändernden Gewalt entgegensetzen, auf einen allgemeinen Ausdruck zurückzubringen, hat Thomas Young[2] den Ausdruck *Modulus der Elasticität* eingeführt, welcher nachher in den Werken der Engländer über Mechanik beibehalten ist. Dieser stützt sich auf das oben erwähnte, durch die Erfahrung aufgefundene Gesetz, dafs die Veränderung, welche ein elastischer Körper durch eine gewisse Kraft erleidet, dieser letzteren so lange direct proportional ist, als die Theile des Körpers keine Veränderung ihrer Lage erleiden; also wenn z. B. ein an beiden Enden unterstützter Stab durch ein Gewicht von 10 ℔ in der Mitte desselben ruhend um 0,1 Z. herabgedrückt wird, so sinkt er durch 20 ℔ unter gleichen Umständen um 0,2 Z. herab. Hiernach kann also die Elasticität der Körper durch den Modulus der Elasticität ausgedrückt werden, wenn man hierunter *eine Säule von der nämlichen Substanz versteht, welche fähig ist einen Druck auf die Unterlage hervorzubringen, und sich zu dem Gewichte, wodurch eine Zusammendrückung des Körpers hervorgebracht wird, verhält wie die Länge des zusammengedrückten Körpers zu seiner Verkürzung.* Nennt man also den Modulus der Elasticität = M, das Gewicht, welches eine Säule von der Länge l um eine Gröfse = f verkürzt, = P: so ist

$$M : P = l : f; \text{ also } M = \frac{Pl}{f}.$$

Drückte z. B. ein Gewicht von 1000 ℔ eine Säule von 100 Z. Länge um 1 Z. zusammen, so wäre der Modulus der Elasticität für diesen Körper

$$M = \frac{1000 \times 100}{1} = 100000,$$

wobei vorausgesetzt wird, dafs der Erfahrung nach ein gleich grofses Gewicht, an einer gleich langen Säule hängend, sie auch um eine gleiche Gröfse herabziehen oder ausdehnen würde. Um

1 Tredgold on cast Iron. S. 32.

2 Lectures on Nat. Phil. I. 137. II. 46.

dieses deutlicher darzustellen sey A B eine Prisma von einer willkürlichen Substanz, und B C eine Verlängerung desselben, welche die ganze anzuwendende Kraft darstellt, wodurch das Prisma um die geringe Gröſse a'A ausgedehnt wird. Während nun AB unverändert bleibt, muſs aA dem herabziehenden Gewichte B C proportional seyn, also

Fig. 24.

$$aA : BC = AB : \frac{AB \times BC}{aA} = CD$$

oder $$aA : AB = BC : \frac{AB \times BC}{aA} = CD$$

wonach also CD eine constante Gröſse ist, und da B C das nämliche Verhältniſs zu C D hat, als aA : AB, so muſs ein Theil von CD durch sein Gewicht eine verhältniſsmäſsige Ausdehnung von AB hervorbringen. So würde also eine Säule von 0,001 der Länge von CD die Säule AB um 0,001 herabziehen und auf sie drückend um eine gleiche Gröſse zusammendrücken[1].

Es geht hieraus hervor, daſs man eben sowohl von dem Gewichte, als auch von der Höhe des Modulus der Elasticität reden könne, indem man sich allezeit eine Säule von der gegebenen Substanz denkt, welche durch ihr eigenes Gewicht die bestimmte Gröſse ihrer Verkürzung oder Verlängerung hervorbringt, auch liegt es am Tage, daſs man vermittelst dieser Normalgröſse die zur Elasticität der verschiedenen Körper gehörigen Erscheinungen construiren könne. Die Höhe des Modulus der Elasticität ist allezeit die nämliche, wie auch die Form des Körpers seyn mag, auch wird nach dem Gesetze der Elasticität eine Vermehrung oder Verminderung derselben eine proportionale Veränderung der Zusammendrückung herbeiführen. Für die Luft ist die Höhe des Modulus der Elasticität etwas über eine geographische Meile; denn wenn man das Verhältniſs des Wassers zur Luft = 779,44 : 1 und des Quecksilbers zum Wassers = 13,6 : 1, die Höhe des Barometers aber = 2,3 F. annimmt, so würde eine gleichmäſsig dichte Luftsäule von 24381 F. diejenige Elasticität derselben hervorbringen, welche ihr jetzt eigen ist, jede Vermehrung oder Verminderung aber eine dieser proportionale Zusammendrückung oder Ausdehnung zur Folge haben. Das Gewicht des Modulus der Elasticität eines gegebenen Körpers muſs allezeit über die Grenze seiner Cohäsion hinausgehen; denn da

1 Vergl. Leslie Elements of Nat. Phil. I. 215.

dasselbe ihn einmal seiner Gröſse proportional ausdehnt, so wird diese Ansdehnung nicht nachlassen, bis der Körper zerrissen ist.

Will man bei der Berechnung und Messung des Widerstandes, welchen elastische Körper einer ihre Gestalt verändernden Gewalt entgegensetzen, von dieser Bezeichnung des Modulus der Elasticität Gebrauch machen, so führen hierzu folgende Betrachtungen[1]. Bezeichnet f ein Gewicht in Pfunden, welches ein Prisma von einem Quadratzoll Querschnitt zu tragen vermag, ohne über die Grenze seiner Elasticität ausgedehnt zu werden, W aber ein anderes Gewicht, welches von einem Prisma getragen werden kann, dessen Breite = b und Dicke = t ist, so ist

$$f : W = 1 : bt; \text{ also } \frac{W}{f} = bt.$$

Ist ferner e die Gröſse, um welche ein Prisma von einem Quadratzoll Querschnitt und einem Fuſs Länge durch ein Gewicht = f ausgedehnt wird, und ist l irgend eine andere gegebene Länge, so ist

$$1 : l = e : le,$$

da bei elastischen Körpern die Ausdehnung dem Gewichte proportional ist, wonach also auch

$$f : W = e : \frac{We}{f}$$

oder wenn man aus der vorhergehenden Proportion auch die Länge = l mit einführt, so ist $\frac{Wle}{f} = \Delta$ diejenige Ausdehnung, welche für eine gegebene Länge = l durch ein Gewicht = W würde hervorgebracht werden. Geht man nun von dem Grundsatze aus, daſs wie sich die Länge einer gegebenen Säule zur Verminderung dieser Länge, so der Modulus der Elasticität zu der die Verminderung bewirkenden Kraft verhält, so hat man für das *Gewicht des Modulus der Elasticität* = m die Proportion

$$e : f = 1 : m \text{ also } m = \frac{f}{e},$$

und wenn p das Gewicht einer Säule der Substanz von 1 F. Länge

1 Tredgold Practical Essay on the strength of cast Iron. Lond. 1824. S. 119.

und einem Quadratzoll Querschnitt bezeichnet, M aber die *Höhe des Modulus der Elasticität*, so ist

$$pM = \frac{f}{e} \text{ also } M = \frac{f}{pe}.$$

Um an einem Beispiele zu zeigen, wie beide Gröſsen m und M gefunden werden, so ist nach englischem Maſs und Gewicht bei weiſsem Marmor die Cohäsionskraft eines Parallelepipedon von einem Quadratzoll Querschnitt = 1811 ℔ avoir-du-poids Gewicht, und die Ausdehnung seiner Länge bei 1 Fuſs $= \frac{1}{1394}$, mithin ist

$$f : e = 1811 : \frac{1}{1394} = 2524534 = m.$$

Das Gewicht eines solchen Parallelepipedon aber beträgt 1,17 ℔, mithin ist $\frac{f}{pe} = 1811 : \frac{1,17}{1394} = 2151102 = M.$

Die Gröſse f oder die absolute Festigkeit der Körper bis zur Grenze der Ueberwindung ihrer Elasticität ist unter dem Artikel Cohäsion[1] nach den Resultaten der genauesten bekannten Beobachtungen auf rheinländisches Maſs und Cölnisches Markgewicht reducirt mitgetheilt. Es wird daher hier genügen, diese Gröſse f, desgleichen e, p, m und M nach Tredgold[2], welcher hierüber am vollständigsten ist, jedoch ohne Reduction, also in englischem Fuſsmaſs und in avoir-du-poids Gewicht mitzutheilen, wobei ferner noch zu berücksichtigen ist, daſs die Zahlen unter e den Nenner eines Bruches angeben, welchem die Einheit als Zähler zugehört.

---

1 S. *Cohäsion* Th. II. S. 153.

2 a. a. O. S. 269.

Substanzen	f	e	p	m	M
Stahl	45000	645	3,400	29000000	8530000
— nach Tredgold[1]	51000	585	3,400	29983410	8818650
Schmiedeeisen	17800	1400	3,300	24920000	7550000
Gufseisen	15300	1204	3,200	18400000	5750000
Messing	6700	1333	3,630	8930000	2460000
Glockenspeise	10000	960	3,540	9873000	2790000
Zinn	2880	1600	3,165	4608000	1453000
Blei	1500	480	4,940	720000	146000
Zink	5700	4200	3,050	13680000	4480000
Quecksilber	—	—	5,938	4417000	750000
Esche	3540	464	0,330	1640000	4970000
Buche	2360	570	0,315	1345000	4600000
Ulme	3240	414	0,236	1340000	4680000
Rothtanne	4290	470	0,242	2016000	8330000
Weifstanne	3630	504	0,204	1830000	8970000
Lerchenbaum	2065	520	0,243	1074000	4415000
Mahagoni	3800	420	0,243	1596000	6570000
Eiche	3960	430	0,360	1700000	4730000
Fichte	3900	414	0,186	1600000	8700000
Weifser Marmor	1811	1394	1,170	2520000	2150000
Schiefer von Wallis	11500	1370	1,190	15800000	13240000
— a. Westmoreland	7870	1640	—	12900000	— —
— a. Schottland	9600	1645	—	15790000	— —
Portland-Stein	857	1789	0,920	1533000	1672000
Wasser	—	—	0,434	325000	750000
Fischbein	5600	146	0,562	820000	1458000

Die bekannten Gesetze der Elasticität sind oben aus den Versuchen gefolgert, und es sind demnächst einige unmittelbare Anwendungen derselben nachgewiesen, welche übrigens bei der Einfachheit der Sache selbst nicht weitläuftig seyn können. In der Anwendung kommt auch die Elasticität der Körper an sich weit weniger in Betrachtung, als vielmehr der Widerstand, welchen dieselben vermöge jener ihrer Eigenschaft so lange zu leisten vermögen, bis ihre Theile eine solche Veränderung ihrer Lage erleiden, dafs sie dieselbe nicht vollständig wieder herstellen *(take a set)*. In wie fern dieses zur Bestimmung derje-

1 Phil. Trans. 1824. II. 358.

nigen Lasten benutzt werden kann, womit die verschiedenen Körper nach ihrer Länge und nach ihrer Quere, ohne eine bleibende Veränderung zu erleiden, beschwert werden dürfen (absolute, relative und rückwirkende Festigkeit), ist unter dem Artikel *Cohäsion* gezeigt, und es bleibt daher hier nichts weiter übrig, als eine Anwendung davon auf diejenigen Fälle zu machen, in denen Körper um ihre Axe gedrehet werden, z. B. bei den Wellen der Räder, den Winden, den Schrauben u. a. m. welche wegen ihres unmittelbaren Zusammenhanges mit den Gesetzen der Elasticität der Körper, wenn sie um ihre Axe gedrehet werden, dort nicht erörtert werden konnten.

Es ist oben gezeigt, dafs die Kraft, womit die Körper in diesem Falle der einwirkenden Gewalt Widerstand leisten, der vierten Potenz ihres Halbmessers directe und dem einfachen Verhältnisse ihrer Länge umgekehrt proportional sind. Nennt man also den Coefficienten ihrer Elasticität α, ihre Länge l, ihren Durchmesser d, und berücksichtigt zugleich, dafs nach dem Gesetze des statischen Momentes die Kraft ihrer Entfernung vom Umdrehungspuncte proportional ist, nennt man also die Länge des Hebelarmes, an welchem die Last den gegebenen Körper zu winden strebt, von der Umdrehungsaxe an, = R, so ist allgemein die Kraft W, welche mit der Elasticität des gewundenen Körpers ohne bleibende Verrückung seiner Theile im Gleichgewichte steht,

$$W = \frac{\alpha d^4}{lR}.$$

Für die praktische Anwendung würde erforderlich seyn, den Coefficienten α bei denjenigen Körpern, wovon im Maschinenwesen vorzüglich Gebrauch gemacht wird, durch Versuche aufzufinden. Indefs ist dieses, so weit mir bekannt, noch bei den wenigsten Substanzen geschehen, und bleibt dieses daher künftigen Untersuchungen vorbehalten. Einen andern Weg hat TREDGOLD[1] betreten, um praktische Regeln über die erforderliche Stärke des Materials gegen die dasselbe drehende Gewalt aufzufinden. Hierbei nimmt er an, dafs ein rectangulärer flacher Körper, etwa ein Blech, entweder durch eine denselben rechtwinklig theilende Linie, oder in zwei seiner Kanten unterstützt sey, und durch eine an die zwei freischwebenden Sei-

---

1 a. a. O. S. 216 ff.

ten gehangene Last gebogen werde, so lange als seine Elasticität den beugenden Kräften ohne bleibende Formänderung Widerstand zu leisten vermag, wovon er dann zur Auffindung derjenigen Kraft übergeht, mit welcher ein Körper von beliebiger Form einer ihn um seine Längenaxe drehenden oder windenden Last widersteht. Auf diese Weise findet er für einen Balken von quadratischem Querschnitt, dessen Seite in Zollen = s, die Länge in Fufsen = l, der Abstand der Last von seiner Axe gleichfalls in Fufsen = R ist, das Gewicht = W in Pfunden, welches in diesem Abstande auf denselben wirken darf

$$W = \frac{f\,s^2}{1728\,R\,l}\left(s^2 + 72\,l^2\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad I,$$

worin f dasjenige Gewicht in Pfunden bezeichnet, womit ein Parallelopipedon von einem Quadratzoll Querschnitt ohne bleibende Formänderung nach seiner Länge belastet werden darf, und welches in der vorstehenden Tabelle enthalten ist. Für einen Cylinder ist auf gleiche Weise, wenn d den Durchmesser in Zollen bezeichnet, die übrigen Bezeichnungen aber beibehalten werden,

$$W = \frac{f\,d^2}{2942\,R\,l}\left(d^2 + 144\,l^2\right) \quad . \quad . \quad . \quad II,$$

Es findet sich, dafs der Widerstand gegen die Drehung bei einem cylindrischen Körper ein Minimum wird, wenn 12 l = d, oder die Länge dem Durchmesser gleich ist. Substituirt man diesen Werth in die angegebene Formel, so ist

$$W = \frac{f\,d^3}{122{,}8\,R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad III,$$

welche bequeme Formel in allen denjenigen Fällen angewandt werden kann, wenn die Länge des Cylinders den Durchmesser übertrifft. Unter dieser nämlichen Bedingung ist für einen hohlen Cylinder von einem äufseren Durchmesser = d und einem inneren = n d

$$W = \frac{f\,d^3}{122{,}8\,R}\left(1 - n^4\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad IV,$$

Tredgold giebt n = 0,6 als das beste Verhältnifs für die Durchmesser an, in welchem Falle

$$W = \frac{f\,d^3}{141{,}7\,R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad V$$

wird.

Als Beispiel zur Erläuterung mögen folgende dienen. Würde der Durchmesser einer Mühlenwelle aus Gufseisen verlangt, welche ein Rad von 9 F. Radius tragen sollte, gegen dessen Umfang das Wasser im Maximo mit einer Kraft von 2000 ℔ wirkte, so wäre nach der Formel III das Gewicht W = 2000 ℔, der Halbmesser R = 9 F., die Stärke des Gufseisens f nach der vorstehenden Tabelle = 15300 gesetzt,

$$2000 = \frac{15300\ d^3}{122,8 \times 9}$$

woraus $d^3 = 144,477$ . . . also d nahe genau 5,25 Z. als Durchmesser der Welle gefunden wird. Soll dagegen der Cylinder ein hohler mit dem angegebenen Verhältnisse der Durchmesser seyn, so wäre nach der Formel V, die nämlichen Werthe substituirt,

$$d^3 = \frac{2000 \times 141,7 \times 9}{15300}$$

also d nahe genau 5,5 Z. Auch bei diesen aus Tredgold entlehnten Formeln und Beispielen ist englisches Fufsmafs und Gewicht beibehalten. *M.*

Elaterometer.

Elasticitätsmesser; *Index mercurialis;* **Baromètre d'épreuve;** *Air gage, air gauge, steam-gage.* Eine Vorrichtung an Luftpumpen und Dampfmaschinen, um die Elasticität, mit welcher verdünnte oder verdichtete Luft unter dem Recipienten, oder auch die Dämpfe im Cylinder einer Dampfmaschine dem Drucke der atmosphärischen Luft entgegen wirken.

Das *Elaterometer für die Luftpumpe* ist eigentlich ein Barometer A, B, C, dessen oberes Ende, A, anstatt zugeschmolzen zu seyn, offen ist, und durch eine Zuleitungsröhre D mit dem innern Raum des Recipienten in Verbindung steht. Vor der Verdünnung steht das Quecksilber in beiden Schenkeln des heberförmigen Barometers gleich. z. B. bei ff'; so wie aber die Luft im Recipienten verdünnt wird, drückt die Atmosphäre durch den offenen Schenkel CB nach, und es erhebt sich in AB. Die Röhren sind von f aus auf und niederwärts nach Zollen und Linien eingetheilt, und ein in der Nähe hängendes Barometer giebt das Verhältnifs der *Verdünnung durch die Luftpumpe zu der* Fig. 25.

Torricelli'schen Leere zu erkennen, den äufsern Barometerstand gleich 1 gesetzt. Das Letztere läfst sich entbehren, wenn der Schenkel B C bei C zugeschmolzen ist, so dafs C B ein wirkliches Heberbarometer vorstellt, in welchem die Quecksilbersäule von i bis h geht. Vor der Verschliefsung der Hähne ist die Luft unter dem Recipienten an Dichtigkeit der äufseren gleich, und das Instrument zeigt in der Röhre B C, den wirklichen Barometerstand, den man für die kurze Zeit des Versuchs als unveränderlich annehmen kann. So wie man zu pumpen anfängt, fällt das Barometer, und der Unterschied der Quecksilberhöhen in beiden Schenkeln giebt den der Verdünnung entsprechenden Barometerstand zu erkennen, Stände dasselbe in beiden Schenkeln auf gleicher Höhe, so würde dieses eine *völlige Luftleere* im Recipienten anzeigen.

Es hält nicht schwer, das hier angegebene Heberbarometer in ein Gefäfsbarometer umzuwandeln, wobei man bei der erstern Art, wo das Quecksilber durch den äufsern Atmosphärendruck heraufgetrieben wird, noch den Schenkel B C ersparen würde. Man darf nur unten, bei B ein Gefäfs anbringen, in welches die Röhre A B eingesenkt wird. Die Construction ist auch wirklich diejenige des ersten Erfinders, Hawksbee[1]; nur mit dem Unterschiede, dafs dieser die Barometerröhre direct in den Teller des Recipienten eintreten liefs, da hingegen späterhin Nairne und Blunt bei der Verfertigung einer Smeaton'schen Luftpumpe eine Seitenröhre mit einer messingenen, inwendig mit einem deckenden Kitt überzogene Büchse anbrachten, welche das etwan überspritzende Quecksilber aufnehmen sollte. Allein die grofse Ausdehnung, die man einem solchen Gefäfse geben mufs, wenn man nicht mit beschwerlichen Reductionen sich plagen will, scheint dem Heberbarometer, zumal bei der zweiten der angeführten Constructionen, die ein eigentliches Barometer mit der Luftpumpe in Verbindung bringt, wesentliche Vorzüge für genauere Messung zuzusichern. Diese Idee findet sich in einer zwar reducirten, aber für den Gebrauch meistens genügenden Form ausgeführt, in dem abgekürzten Barometer, (Baromètre tronqué) welches Dufay[2] beschreibt. Es ist ein Gefäfsbarometer (dem man auch wegen der Capillardepression und der

Fig. 26.

1 Physico-mechanical experiments etc. London 1709. 4.

2 Mém. de l'Acad. 1734.

geschmeidigern Form ein Heberbarometer substituiren kann) von nicht mehr als 5 bis 6 Zoll Höhe, auf einem platten Fuſse stehend, das unter die Glocke der Luftpumpe gesetzt wird. Seine Wirksamkeit fängt erst an, wenn der Luftdruck unter dem Recipienten nur noch einem Barometerstande von 3 bis 4 Zollen gleich ist.

Die Bestimmung der Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft nach diesen Barometern ist einfach. Da die Dichtigkeiten oder die Elasticitätten sich wie die Quecksilbersäulen verhalten, welche sie zu tragen vermögen, so braucht man nur die am Elaterometer sich ergebende Höhe des Quecksilbers mit dem jedesmaligen Stande desselben zu vergleichen, um auf das Maſs der Verdünnung zu schlieſsen. Bei der erstern Einrichtung, (nach Hawksbee) wo der äuſsere Luftdruck das Quecksilber in die Röhre AB hinauftreibt, verhalten sich die Dichtigkeiten der eingeschlossenen Luft, wie die Ergänzungen der Höhen des Quecksilbers zum Barometerstande, oder wenn a den beobachteten äuſsern Barometerstand, h die Höhe der angesogenen Quecksilbersäule, D die Dichtigkeit der äuſsern, d die der innern Luft bezeichnet, so ist $d = D \times \frac{a - h}{a}$. Wäre also a = 28 Zoll; h = 24, so ist a — h, oder die Elasticität der eingeschlossenen Luft = 4 Zoll, mithin ihre Dichtigkeit = $\frac{4}{28}$ oder $\frac{1}{7}$ von derjenigen der äuſsern Luft. Bei dem Elaterometer nach Düfay hingegen hat man, wenn die Quecksilberhöhen h an dem Barometer in der oben luftleeren, Röhre CB gemessen worden, $d : D = h : a$; also $d = D \times \frac{h}{a}$; wenn daher dieses Barometer von 28 Zoll auf 24 Zolle fällt, so ist die Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft = $\frac{24}{28}$ oder $\frac{6}{7}$ der äuſsern.

Smeaton hat noch ein anderes Elaterometer angegeben, welches von demjenigen des Hawksbee nur darin verschieden ist, daſs nicht der aërostatische Druck der freien Luft, sondern die Expansivkraft eines gewissen Quantums eingeschlossener Luft das Quecksilber in die Röhre AB hinaufdrückt. Seine Wirkung wird am deutlichsten eingesehen, wenn wir ihm die oben angedeutete heberförmige Gestalt geben, wobei man nur innerhalb des Verschlusses bei C ein gewisses Quantum atmosphärischer Luft eingeschlossen sich denken muſs. Es gehe dieses von C bis f, und das Instrument sey so regulirt, daſs vor dem

Fig. 25.

Auspumpen das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch stehe, was wohl am besten durch einen in C angebrachten dicht verschliefsenden Hahn bewerkstelligt wird, durch welchen zuvor die atmosphärische Luft eindringen kann. So wie die Verdünnung beginnt, entsteht ein immerfort verändertes Verhältnifs zwischen der unverminderten Elasticität der eingeschlossenen Luft im Schenkel B C, und derjenigen im Schenkel AB, dergestalt, dafs dasjenige, was der Letzteren an Elasticität abgeht, durch den Druck der in AB sich erhebenden Quecksilbersäule ersetzt wird [1]. Es bezeichne d die (in Zollen der Barometerscale auszudrückende) Dichtigkeit der Luft im Recipienten, D diejenige Dichtigkeit, welche dem äufsern Barometerstande entspricht; a bedeute das Volumen der eingesperrten Luft in Höhen-Zollen der cylindrischen Röhre B C ausgedrückt; h die Erhebung der Quecksilbersäule im Schenkel AB über die Höhe desselben im Schenkel BC, mithin die daraus erfolgende Deprssion in diesem Schenkel oder die Vergröfserung des eingesperrten Luftraumes $\frac{1}{2}$ h, so ist die Luft, welche vorher den Raum a einnahm, auf a $+ \frac{1}{2}$ h ausgedehnt; ihre Federkraft, die vorher gleich dem Barometerstande war, ist nun im umgekehrten Verhältnifs der Räume, a : a $+ \frac{1}{2}$ h geschwächt worden. Mit dieser verdünnten Luft steht auf der andern Seite die Luft unter dem Recipienten, nebst der Quecksilberhöhe h im Gleichgewicht; es ist also $d + h = \frac{a\ D}{a + \frac{1}{2} h}$; daraus die gesuchte Dichtigkeit $d = \frac{a\ D}{a + \frac{1}{2}\ h} - h$. Es sey $D = 28$ Zolle, $a = 12$ Z.; $h = 16$ Z., so ist $d = \frac{12\ .\ 28}{12 + 8} - 16 = 0{,}8$ Zollen Quecksilberhöhe.

Das nämliche Instrument läfst sich auch zur Abmessung der *Verdichtung* der Luft gebrauchen, wenn man h oder den Höhenunterschied der Quecksilberflächen negativ nimmt. Es ist alsdann $d' = \frac{a\ .\ D}{a - \frac{1}{2} h} + h$; wäre nun der Stand des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel über dem untern Niveau, oder $h = 10$ Zoll, so hat man für $d' = \frac{12\ .\ 28}{12 - 5} + 10 = 58$ Zoll, oder eine mehr als zweifache Verdichtung. Es wird hierbei

1 Philos. Trans. Vol. XLVII. art. 69.

vorausgesetzt, daſs die angewandten Röhren von gleichem Caliber seyen, und dieser Umstand mag dazu beigetragen haben, daſs dieses Elaterometer nicht in Gebrauch gekommen ist, und daſs selbst bei Luftpumpen nach Smeaton's Angabe die Einrichtung von Hawksbee angewandt wurde.

Bei dem vor Zeiten angewandten Verfahren, die Glasglocke zu besserer Verschlieſsung auf ein nasses Leder zu setzen, wurde im Vacuum so viel Wasserdampf erzeugt, daſs das Elaterometer die eigentliche Verdünnung der Luft beträchtlich geringer angab, als sie wirklich war. Diesem Nachtheile half Smeaton durch die sogenannte *Birnprobe* ab, vermittelst welcher die Verdünnung durch das Zusammendrücken eines gegebenen Quantums verdünnter Luft bis zu gleicher Dichtigkeit mit der äuſseren, gemessen wurde, bei welcher Verdichtung jene Dämpfe nicht mehr statt finden konnten. Die neuern Mechaniker haben durch genaues Aufschleifen der Recipienten auf den Teller der Luftpumpe jene Quelle der Feuchtigkeit entfernt, und so dürfte das Elaterometer allmälig wieder in seine Rechte treten, aus welchen es durch die nach ihrer gewöhnlichen Einrichtung auch nicht ganz tadelfreie Birnprobe verdrängt worden ist[1].

Ganz die nämlichen Apparate wurden auch bei den Dampfmaschinen von ihrem berühmten Verbesserer J. Watt in Anwendung gebracht. Es sind derselben zweierlei. Das eine Elaterometer dient, um das Vacuum, welches durch die plötzliche Verdichtung der Dämpfe entsteht, oder die Elasticität der übriggebliebenen Dämpfe zu beurtheilen[2], das andere giebt die Kraft der Wasserdämpfe an, welche aus dem Kessel in das Verdichtungsgefäſs übergehen.

Aus dem in der Tiefe stehenden Verdichtungsgefäſse steigt eine eiserne Röhre a b auf, welche bei b umgebogen und niederwärts gehend, bei c wieder aufwärts gerichtet ist; die Verlängerung c d von circa 30 Zollen Länge ist entweder von Glas, oder auch von Eisen und mit einem Schwimmer versehen. Durch das offene Ende d wird Quecksilber hineingegossen, bis es etwa bei f, f in beiden Schenkeln gleich steht. Der Hahn K dient, um den Apparat verschlossen zu halten, bis die Dämpfe abgekühlt sind, weil diese sonst das Quecksilber bei d herauswerfen

Fig. 27.

1 S. Art. *Birnprobe*. I. 977.

2 S. Art. *Dampfmaschine* II. 473.

würden. Das Fallen der Flüssigkeit in der Röhre cd gibt die Leere im Verdichtungsapparate zu erkennen. Ist dieser und die Luftpumpe in gutem Stande, so fällt das Quecksilber um 14 bis 15 Zolle, was einem Druck von ungefähr eben so viel Pfunden auf den Quadratzoll gleich ist[1].

Ein diesem sehr ähnliches Elaterometer bringt Cuthbertson[2] bei seinen Luftpumpen an, und zwar bei den gröfseren mit der gewöhnlichen Barometerröhre zugleich, bei den kleineren aber nur dieses allein, und giebt ihm den Namen *Doppelheber* oder *Doppelheberprobe* (double syphon). Dasselbe besteht aus einer doppelt heberförmig gebogenen Glasröhre a b c d, etwas über 2 Lin. dick und etwas über eine Linie weit, deren aufstehendes, oben bei d zugeschmolzenes Ende d c bis über die untere Krümmung bei c mit Quecksilber gefüllt und wie ein Barometer ausgekocht ist. Die Zeichnung stellt alle drei Theile der Röhre in einer Ebene liegend dar, zur Ersparung des Raumes und für die Bequemlichkeit des Aufschraubens ist es aber besser, sie so zu biegen, dafs sie die Kanten eines dreiseitigen Prisma bilden. Die so gebogene, gefüllte und gehörig ausgekochte Röhre wird in die männliche Schraubenfassung g g gekittet, und vermittelst derselben auf ein mit der Oeffnung des Tellers der Luftpumpe in Verbindung stehendes Rohr geschraubt, so dafs das Quecksilber in den Schenkel d c herabsinkt, sobald die Elasticität der Luft unter der exantlirten Campane geringer ist, als dafs sie die Höhe der Quecksilbersäule d c zu tragen vermöchte. Um dann die Differenz der sogenannten *Guericke'schen Leere* unter der Campane und der *Torricellischen* über dem Quecksilber im Schenkel c d besser und genauer messen zu können, ist an dem aufstehenden Arme n der federnden und auf der Röhre verschiebbaren Zwinge m die bewegliche elfenbeinerne Scheibe f f befestigt, welche etwa einen Zoll hoch, und durch feine Striche in Linien und deren Zehntheile getheilt ist, durch die an zwei Drähten hängende Kugel p stets horizontal gehalten wird, und dadurch das Mittel darbietet, die Höhe der Quecksilbersäule in den beiden Schenkeln der Röhre nach Zollen und

Fig. 28.

---

1 Das andere Elaterometer, als wesentlicher Theil der Dampfmaschine ist Th. II. S. 467 beschrieben, und Fig. 150 abgebildet.

2 Description of an improved Air-pump cet. by J. Cuthbertson Amst. 1787. 8. S. 18. Daselbst abgebildet Taf. II. Fig. 9.

deren Theilen scharf zu bestimmen. Der Unterschied derselben giebt dann unmittelbar die Elasticität der unter der Campane noch zurückgebliebenen expansibelen Flüssigkeiten an.

Einfache heberförmig gebogene und auf die angegebene Weise mit Quecksilber im einen Schenkel gefüllte und ausgekochte Glasröhren, werden oft von den Physikern nach dem jedesmaligen Bedürfnifs gröfser oder kleiner verfertigt, um unter die Campane zur Bestimmung des Grades der Verdünnung als Elaterometer gesetzt zu werden, deren detaillirte Beschreibung indefs überflüssig scheint. *H.*

Elektricität.

Electricitas; Electricité; *Electricity.* Mit diesem Namen bezeichnet man den Inbegriff gewisser Erscheinungen, welche von einem eigenthümlichen Zustande eines Körpers abhängen, in welchem derselbe leichte Körperchen aller Art, die ihm genähert werden, anzieht, dann wieder zurückstöfst, und bei einer gewissen Intensität dieses Zustandes gegen gewisse ihm genäherte Körper, z. B. den Finger, einen leuchtenden und für das Gefühl stechenden Funken mit einem knisternden Schalle giebt, einen eigenthümlichen, dem des an der Luft sich langsam oxydirenden Phosphors ähnlichen, Geruch verbreitet, und noch andere weiter unten umständlich anzuführende Wirkungen äufsert, auch andere Körper, die mit ihm verbunden werden, in den Stand setzt, eben diese Wirkungen hervorzubringen. Alles dieses nennt man *Elektricitätserscheinungen,* oder *elektrische Erscheinungen* und den Körper selbst in diesem Zustande *elektrisch.* Bisweilen bezeichnet man auch durch das Wort Elektricität (E) die Ursache dieser Erscheinungen in demselben Sinn, wie man durch das Wort Wärme die Ursache der Wärme-Erscheinungen, durch das Wort Licht die Ursache der Licht-Erscheinungen bezeichnet. Ich werde indefs in den Artikeln, welche sich auf die E beziehen, dieses Wort in der Regel in dem zuerst aufgestellten Sinne gebrauchen, und wo von der Ursache selbst näher die Rede ist, entweder dieselbe, soferne sie als eine noch nicht hinlänglich genau bestimmte anzusehen ist, durch den allgemeinen Namen *elektrische Materie* oder durch *elektrisches Fluidum* bezeichnen.

Der Name dieser ganzen Lehre hat seinen Ursprung von dem griechischen Worte des Bernsteins oder Agtsteins ἤλεκτρον, an welchem obige Eigenschaften unter gewissen Umständen zuerst bemerkt wurden[1], daher auch einige deutsche Puristen, wie der Abt Hemmer in allen von diesem griechischen Worte abgeleiteten Worten, das deutsche Agtstein unterschieben wollten, was aber wegen der barbarisch klingenden Zusammensetzungen, wie z. B. Beagtsteinkräftigen statt elektrisiren, Beagtsteinkräftigungsrüstzeug statt Elektrisir-Maschine mit Recht keinen Eingang gefunden hat. Die wahrscheinlichste Ableitung[2] des Wortes ἤλεκτρον selbst aber ist die von seiner anziehenden Kraft hergenommene, die das alte Hellas mit der des Magnetes zusammenstellte, und welche beide den Thales dahin brachten, auch leblosen Dingen eine Seele zuzuschreiben, — also von ἕλκειν, ziehen, die härtere Form ἕλκτρον, welche zunächst daraus hervorgehen würde, zu ἤλεκτρον gemildert, wie etwa ἡμέρα zu ἦμαρ wird. Um derselben Kraft willen, an *Stroh* und Fäden und Blättern bemerkt, nannten die Syrer den Bernstein *Räuber*[3], die Perser *Strohräuber* (Karuba, wovon auch das noch jetzt den Bernstein bezeichnende Wort Carabe herstammt); der französische Trivialname *tire-paille* ist bekannt. Gleichwie aber bei uns Deutschen der Name Bernstein nach einer Nebeneigenschaft, der Brennbarkeit (bernen, brennen) gebildet ist, so ward bei den Griechen das blässere, stark mit Silber gemischte Gold, welches Herodot[4] *Weifsgold* nennt, weil seine Farbe an τὸ ἤλεκτρον erinnert, ὁ ἤλεκτρος (χρυσός) genannt[5].

Da die nähere Betrachtung dieser höchst merkwürdigen und mannigfaltigen Erscheinungen in verschiedene besondere Artikel der Einrichtung eines Wörterbuchs gemäfs vertheilt werden mufs, so werde ich in diesem allgemeinen Artikel eine Uebersicht aller wesentlichen Verhältnisse geben, unter welchen diese Erscheinungen vorkommen können, und von denen ihre wichtigsten Modificationen abhängen, und zwar dieselben betrachten,

---

1 S. *Geschichte der Elektricität.*

2 Diese für manche Leser gewifs nicht uninteressante Notiz verdanke ich meinen hochgeschätzten Collegen Dahlmann.

3 Plin. H. N. XXXVII. c. 2.

4 Hist. I. 50.

5 Gründlichere Aufklärumg giebt Buttmann über das Elektron in Abh. der Berlin. Ak. d. W. 1818—19. S. 38 ff.

1. an sich überhaupt, 2. die Hauptverschiedenheiten derselben, 3. die Mittel sie zu erregen, 4. die Mittel diese Wirkungen weiter zu verbreiten und die Gesetze für diese Verbreitung, 5. die Gesetze für die Hauptformen der elektrischen Thätigkeitsäufserung entwickeln, 6. eine gedrängte Geschichte der Eelektricität und eine Nachricht von den Meinungen der Physiker über die Ursache derselben beifügen und 7. mit einer allgemeinen Betrachtung über das Verhältnifs der Elektricität gegen andere Naturkräfte und über das, was in dieser Hinsicht noch aufzuklären bleibt, schliefsen.

I. Elektrische Erscheinungen im allgemeinen.

Wenn man eine reine und trockene Glasröhre mit der einen Hand hält, und mit der andern reinen und trockenen Hand, einen wollenen Lappen, oder am besten mit einem mit Amalgam [1] bestrichenem ledernen Lappen durch abwechselndes Auf- und Niederwärtsstreichen reibt, dann aber dieselbe einem kleinen leichten Körper, z. B. einem Stückchen Papier, einem Metallblättchen, oder noch besser, einem kleinen an einem seidenen Faden hängenden Kügelchen von Hollundermark oder Sonnenblumenmark oder Kork nähert, so wird die geriebene Röhre den leichten Körper zuerst aus einer merklichen Ferne anziehen, bald darauf wieder von sich stofsen, dann, wenn derselbe den Tisch wieder berührt hat, oder das aufgehängte Kügelchen mit dem Finger berührt worden ist, abermals anziehen, und so eine Zeitlang abwechselnd fortfahren.

Wenn man sich der geriebenen und dadurch el. gewordenen Glasröhre mit dem Finger etwa bis auf einen halben Zoll nähert, so sieht man zwischen beiden einen leuchtenden Funken, der mit einem schwachen knisternden Schalle hervorbricht, und im Finger ein schwaches Gefühl von Stechen hervorbringt. Im Dunkeln ist obige Lichterscheinung auffallender, auch sieht man einen bläulichen Schein an der Glasröhre dem Reibzeuge folgen, so wie man dasselbe fortbewegt. Ist die Glasröhre zu solchen Versuchen vorzüglich geschickt, von gutem grünen Glase, und recht gleichförmiger glatter Oberfläche, und hat man sie länger gerieben, so dafs sie recht stark elektrisirt worden ist,

1 S. *Elektrisirmaschine und Amalgama.*

so wird man einen eigenthümlichen Geruch wie nach Phosphor verspüren, und wenn man ihr mit dem Gesichte nahe kommt, etwas fühlen, gleichsam als ob ein feines Spinnengewebe gegen die Haut flöge.

Diese angeführten Merkmale sind die allgemeinsten der E. Das erste, die *Anziehung leichter Körperchen*, zeigt sich schon bei den schwächsten Graden derselben; die beiden letzteren sind aber nur bei den stärkeren Graden der durch bloſses Reiben erregten E. anzutreffen, insbesondere wenn das Glas zu einer eigentlichen Elektrisir-Maschine vorgerichtet, und durch ein Reibzeug in den el. Zustand versetzt wird. Auch scheint der Phosphorgeruch der Glas- oder positiven E. ausschlieſsend zuzukommen. Andere el. Erscheinungen äuſsern sich nur unter besondern Umständen unh Veranstaltungen.

Eben das, was durch das Reiben des Glases erregt werden kann, erfolgt auch, wenn man ein Stück *Bernstein*, *Copal*, *Colophonium*, *Siegellack*, *Schwefel*, einen *hölzernen* im Backofen wohl *ausgetrockneten* und *erwärmten Stock*, *Porcellan*, *ein seidenes Band* u. s. w. reibt. Doch stehen diese Körper im Ganzen in Ansehung der Intensität der angeführten Erscheinungen, z. B. was die Entfernung betrifft, bis zu welcher sie die leichten Körperchen anziehen u. s. w., dem Glase weit nach, zumal wenn ihre Oberfläche mehr rauh, und sie nicht durch Erwärmung vollkommen trocken gemacht sind. Ein feines recht glattes Siegellack kommt dem Glase am nächsten. Sehr oft bemerkt man, daſs solche, durch Reiben el. gewordene Körper, leichte Papier- oder Strohstückchen, Metallblättchen u. s. w. zwar anziehen, aber dann nicht wieder abstoſsen, sondern letztere daran hängen bleiben, welcher Fall vorzüglich dann statt findet, wenn die erregte E. nur schwach ist, und sich darum mit mehr Schwierigkeit von der geriebenen Oberfläche, vollends wenn diese recht glatt ist, mittheilt.

Man kann im Allgemeinen sagen, daſs beim Reiben aller Körper dasselbe wie beim Glase eintritt, nur bei vielen in einem sehr schwachen Grade, und nur bei Beobachtung anderweitiger Bedingungen, indem z. B. an Metallen, wenn sie, in der Hand gehalten, gerieben werden, auch eine sehr starke Elektricität, die etwa durchs Reiben an ihnen erregt würde, nicht zum Vorschein kommen könnte, wegen der augenblicklichen Ableitung derselben.

Solche Körper, wie die oben genannten, die durch Reiben merklich elektrisch werden, heifsen *elektrische an sich* oder *eigenthümlich elektrische, idioelektrische Körper*, und sind zugleich *Nichtleiter* oder *Isolatoren* der E.; die durch Reiben nicht merklich elektrisch zu werden scheinen, wie die Metalle, nennt man *unelektrische*, *anelektrische Körper*, und sie sind zugleich *Leiter* der E. Es lassen sich in Hinsicht dieser Eigenschaft, unter den obenangegebenen Bedingungen durch Reiben el. zu werden oder nicht, womit die Eigenschaft die E. zu leiten oder nicht zu leiten im Ganzen gleichen Schritt hält, alle natürlichen Körper unter die angegebenen zwei Hauptclassen bringen, doch so, dafs die Grenzlinie nicht scharf gezogen werden kann, indem es eben so wenig einen *vollkommenen Leiter*, als einen *vollkommenen Isolator* giebt, und die sogenannten *Halbleiter* den Uebergang von der einen Classe zur andern machen; endlich unter abgeänderten Umständen auch die Leiter durch Reiben merklich el. werden können, worüber das Nähere unter den Artikeln: *Isolatoren*, *Halbleiter* und *Leiter*, so wie unter der folgenden Rubrik nachzusehen ist.

Man nennt die Hand, oder überhaupt das, was den el. Körper reibt, *Reibzeug*, und eine Maschine, die durch ein beständiges Reiben ein Glas oder einen andern an sich el. Körper elektrisirt, eine *Elektrisirmaschine*. Es versteht sich indessen von selbst, dafs beim Reiben zweier Körper an einander jeder wechselseitig als der geriebene oder als das Reibzeug betrachtet werden kann.

Wenn man an das Ende der elektrisirten Glasröhre einen Metalldraht, so lang er auch sey, anbringt, und eine metallene Kugel daran befestigt, so zeigen Draht und Kugel jene el. Haupterscheinung, leichte Körperchen aus der Entfernung anzuziehen und dann wieder abzustofsen, so wie bei Annäherung des Fingers einen stechenden Funken zu geben, eben sowohl als die Glasröhre selbst. Man sagt daher, die E. der Glasröhre gehe in den Metalldraht und in die Kugel über, oder theile sich denselben mit. Zum Unterschiede nennt man die durchs Reiben erregte E. des Glases *ursprüngliche*, die in das Metall übergegangene aber, *mitgetheilte* E. Verbindet man dagegen die Metalkugel mit der Glasröhre durch eine sei-

dene Schnur, so giebt in diesem Falle die Kugel kein Zeichen einer E. Man sieht hieraus, daſs die Seide die E. nicht überführt, oder daſs sie die Mittheilung derselben verhindert. So verhalten sich alle an sich el. Körper, und eben das ist der Grund, warum sie auch Nichtleiter oder Isolatoren genannt werden. Der Medalldraht in dem ersten Falle leitete die E. der Glasröhre in die Kugel, das thun auch alle sogenannten unelektrischen Körper, und eben darum heiſsen sie *Leiter* oder *Conductoren*.

Wenn ein Körper mit lauter Nichtleitern umgeben ist, so heiſst er *isolirt*. Da die trockene Luft unter die Nichtleiter gehört, so ist ein Körper, der in trockener Luft an seidenen Schnüren hängt, auf einem Glasfuſse oder Harzkuchen und dgl. steht, isolirt. Ein solcher Körper kann seine E. nicht mittheilen, weil er lauter Nichtleiter berührt, die sie nicht überführen. Da jedoch keiner von diesen Körpern ein absoluter Nichtleiter ist, so wird auch der am besten isolirte Körper durch eine langsame Ableitung seine E. doch allmälig verlieren.

Das Wasser und alle flüssigen Körper, Luft und Oele ausgenommen, sind Leiter. Daher verwandeln sich alle Nichtleiter in Leiter, wenn sie feucht werden, da, wie wir in der Folge sehen werden, die E. im gewöhnlichen Falle nur an der Oberfläche der festen Körper fortgeleitet wird, und folglich dann an der Oberfläche die Schicht eines Leiters findet, so dienen die Körper um so weniger zum Isoliren, je stärker ihre hygrometrische Eigenschaft ist. Selbst die Luft leitet, wenn sie feucht ist; daher kommt es, daſs el. Versuche in feuchten Zimmern schlecht oder gar nicht gelingen, weil jeder elektrisirte Körper seine E. bald an die ihn berührende Luft abgiebt. Der feuchte Erdboden ist ein sehr guter Leiter, durch eine leitende Verbindung mit demselben, oder mit einem flieſsenden Wasser, welches mit der ganzen Wassermasse der Erdkugel in Verbindung steht, vermag man die stärkste E. abzuleiten, und jede Wirkung eines Körpers, die von sogenannter freier E. abhängt, aufzuheben.

II. Entgegengesetzte Elektricitäten.

Die Person, welche die Glasröhre reibt, oder überhaupt das Reibzeug wird durch dieses Reiben zugleich mit elektrisirt.

Ist es mit Leitern, und durch diese mit dem Erdboden verbunden, so wird man seine E. zwar nicht wahrnehmen, weil sie sich augenblicklich durch durch die Leiter der Erde mittheilt, ist es aber isolirt, so zeigt es die für den el. Zustand im allgemeinen charakteristischen Erscheinungen gleichfalls. So werden z. B. zwei Personen, welche beide auf einem kleinen, durch Glasfüfse wohl isolirten Schemel, einem sogenannten Isolatorium [1] stehen, und wovon die eine die Kleider der andern mit einem recht trockenen Katzenfelle wiederholt schlägt, beide dann leichte Körperchen anziehen, und sich auch wohl, wenn der Versuch unter den günstigsten Umständen angestellt wird, wechselseitig einen kleinen Funken geben. Aber es findet sich zwischen der E. der Röhre und des Reibzeugs oder jener beiden Personen ein merkwürdiger Unterschied, der durch die nachfolgenden Versuche ausgemittelt wird.

Wenn ein leichter isolirter Körper, z. B. ein an einem seidenen Faden hängendes Kügelchen von Hollundermark der Röhre genähert, von ihr angezogen und dann wieder zurückgestofsen worden ist, so wird dieses Kügelchen, wofern es nicht inzwischen einen Ableiter zur Erde berührt hat, nicht weiter von der Röhre angezogen, sondern zurückgestofsen. Nähert man ihn aber in diesem Zustande dem Reibzeuge, vorausgesetzt, dafs dasselbe an sich ein Nichtleiter ist, oder im Falle es ein Leiter ist, auf eine schickliche Weise beim Reiben mit einer isolirenden Handhabe gehalten wurde, so zieht ihn dieses stark an. Es stöfst ihn aber dann, nach erfolgter Berührung, wieder ab, und in diesem Zustande der Abstofsung zieht ihn nun die Röhre von neuem an.

Mehrere bewegliche isolirte, z. B. an feinen seidenen Fäden hängende Kork- oder Hollundermarkkügelchen, welche die Röhre angezogen und dann wieder abgestofsen hat, stofsen sich unter einander selbst zurück. Auch Kügelchen, welche das Reibzeug angezogen und wieder abgestofsen hat, stofsen einander selbst ab. Beide behalten dieses Merkmal der E., wenn sie gut isolirt sind, was vorzüglich eine recht gut isolirende, also eine recht trockene Luft voraussetzt, eine ziemliche Zeitlang. Bringt man aber ein Kügelchen, das die Röhre berührt hat, gegen ein solches, welches das Reibzeug berührt

[1] Vergl. *Isolatoren.*

hat, so ziehen beide einander an, und verlieren (vorausgesetzt dafs sie gleich sind, und die el. Spannung beider gleich grofs ist) sofort ihre E. gänzlich, so dafs auch nicht die mindeste Spur davon zurückbleibt, und werden dann beide gleichmäfsig sowohl vom Reibzeuge als von der geriebenen Glasröhre angezogen.

Wenn man Gröfsen, die beim Zusammenkommen einander vermindern, und wenn sie gleich sind, aufheben, entgegengesetzte nennt, so kann man hier die Elektricitäten des Glases und seines Reibzeuges als entgegengesetzte betrachten, und nach der Analogie entgegengesetzter Gröfsen mit dem Zeichen + und — E. belegen, wobei, da überhaupt nur zunächst dieser Gegensatz ausgedrückt werden sollte, willkürlich das + oder — der einen oder andern E. beigelegt werden könnte, aus andern, in der Folge zu entwickelnden Gründen aber die E. des Glases das + Zeichen erhalten hat.

Die angeführten Erscheinungen geben alsdann den Satz: *Gleichartige Elektricitäten stofsen sich zurück, ungleichartige ziehen sich an.* Die Glasröhre zog die Hohlundermarkkugel an, theilte ihr + E. mit, und stiefs sie darauf zurück, weil beide nur + E. hatten. Derselbe Fall fand in Hinsicht auf die vom Reibzeuge angezogene Kugel statt, und eben so stiefsen die mehreren Kugeln die + E. oder — E. hatten, einander zurück. Aber eine mit + E. und eine mit — E. zogen sich an und hoben durch ihre wechselseitige Einwirkung auf einander und Ausgleichung ihrer Elektricitäten alle E. auf, weil + E — E von wechselseitig gleicher Stärke = 0 ist.

Reibt man statt der Glasröhre eine Stange Siegellack oder einen Harzkuchen mit der Hand, oder noch besser mit einem Hasen- oder wildem Katzen-Balge, so bekommt das Siegellack, das Harz dieselbe E., welche in dem obigen Versuche, wo Wollenzeug, Seidenzeug, oder ein mit Amalgama eingeriebener Lappen von Leder zum Reiben angewandt wurden, das Reibzeug angenommen hatte, und welche wir vorläufig — E. genannt haben, und das Reibzeug, wenn es isolirt ist, bekommt die E. des Glases, oder + E. Denn ein Hollundermarkkügelchen, dem man an einer geriebenen Glasröhre die Glaselektricität oder + E. gegeben hat, und welches von dieser dann zurückgestofsen wird, wird von der geriebe-

nen Siegellackstange, oder von einer Hollundermarkkugel, die durch Berührung der Siegellackstange die E. derselben angenommen hat, angezogen, und von dem Reibzeuge, oder einer Kugel, die die E. desselben erhalten hat, abgestoſsen. Daher hat du Fay, der die entgegengesetzten Elektricitäten zuerst bemerkte [1], ihnen den Namen der *Glas-* und *Harz-Elektricität* (electricité vitreuse et resineuse) beigelegt, eine Benennung, welcher die französischen Physiker seitdem treu geblieben sind. Franklin nannte sie positive und negative oder Plus und Minus E., weil er die Erscheinungen der Glas E. von einem Ueberflusse oder einer Anhäufung der E. die der Harz E. dagegen von einem Mangel oder Entziehung derselben E. herleiten zu können glaubte, und Lichtenberg [2] hat dafür die bequemeren Beziehungen + und — eingeführt, die über die Natur dieser beiden Elektricitäten an sich nichts entscheiden, sondern nur die Uebereinstimmung ihres wechselseitigen Verhaltens mit dem von entgegengesetzten Gröſsen gegen einander ausdrücken sollen, welche ich hier durchgängig beibehalte.

Alle el. Erfahrungen bestätigen den Hauptsatz, und die Theorie hat die Nothwendigkeit dieses Erfolges nachzuweisen, daſs nämlich beim Reiben zweier Körper an einander, wenn dadurch E. erregt wird, das Reibzeug, wenn es isolirt ist, allezeit die entgegengesetzte E. von derjenigen zeigt, welche der geriebene el. Körper erhalten hat. Man kann aber fast allen el. Körpern nach Belieben + E. oder — E. geben, je nachdem man das Reibzeug oder andere Umstände beim Reiben verändert. Um dergleichen Versuche anzustellen, ist es nothwendig, beide Körper, die man an einander reiben will, zu isoliren. Sind sie starr, so kann man sie am passendsten an Handhaben von Glas oder Harz befestigen. Ist es thunlich, so thut man am besten, die Substanzen in Form von Platten anzuwenden, um sie in einer gröſsern Oberfläche an einander zu reiben. Man kann auf diese Weise einen starren Körper, und ein Stück Zeug, oder auch zwei Stücke Zeug, Pelzwerk u. s. w. an einander reiben. Hat

---

1 Mémoires de Paris 1733.

2 Comment. super nova methodo etc. in Comment. Societ. Goetting. Class. Math. Tom. I.

man das Reiben einige Augenblicke fortgesetzt, so trennt man beide Körper, und prüft ihre E., indem man sie an der isolirenden Handhabe hält. Man erkennt und unterscheidet sie am leichtesten vermittelst eines Kork oder Hollundermarkkügelchens, das an einem seidenen Faden an einem Glasstäbchen isolirt herabhängt, und dem man zuvor eine beliebige E. mitgetheilt hat, oder die schwächsten Grade noch sicherer an einem Goldblatt-Elektrometer[1]. Man theilt den Goldblättchen desselben entweder + oder — E. mit, wodurch sie nur um einen gewissen Winkel divergiren. Findet die Divergenz durch + E. statt, so wird bei Annäherung eines Körpers, der die gleiche E. hat, die Divergenz zunehmen, bei Annäherung eines mit — E. versehenen dagegen abnehmen. Bei starker E. der gegebenen Körper muſs man vorsichtig mit der Annäherung derselben seyn, und die Art der Veränderung zumal bei den so empfindlichen Goldblättchen, schon aus einer groſsen Entfernung versuchen, denn nach dem Gesetze der el. Wirkungskreise kann bei schneller Annäherung, wenn z. B. die Goldblättchen mit — E. divergiren, eine starke positive E., welche schon aus gröſserer Entfernung das schwache — E. gebunden und die Divergenz aufgehoben hat, durch dann erfolgende Vertheilung von 0 und Zurücktreibung von + E. eine neue gleiche Divergenz, wie sie im Anfange von — E. herrührte, hervorbringen, welche bei weiterer Annäherung zunimmt, und dadurch die Täuschung veranlassen, als wenn der el. Körper mit — E. einwirkte. Umgekehrt gilt dasselbe in Beziehung auf die durch + E. divergirenden Goldblättchen, wenn ein mit starker negativer E. versehener Körper zu schnell genähert wird. Am einfachsten, leichtesten und sichersten bedient man sich des durch Behrens und Bohnenberger angegebenen Blattgold-Elektrometers, welches die Art der mitgetheilten E. unmittelbar angiebt. Statt eines Elektrometers kann man auch ein einfaches, sehr bewegliches an einem seidenen Faden von einem Glasstabe herunterhängendes Hollundermarkkügelchen, dem man vorher + oder — E. mitgetheilt hat, in Anwendung bringen, das durch die erfolgte Anziehung oder Abstoſsung die mit der seinigen ungleichartige oder gleichartige E. des geriebenen Körpers verrathen wird.

1 S. *Elektrometer.*

Eine besondere Art, diese Versuche über die Erregung der E. durch Reiben der Körper an einander anzustellen, ist das Durchsieben der Körper in Pulvergestalt durch Siebe von verschiedener Beschaffenheit, wobei gleichfalls eine Reibung statt findet, und die Siebe jedesmal die entgegengesetzte E. des durchgesiebten Pulvers zeigen. Wenn man auf diese Weise ein Gemenge von zwei Pulvern z. B. Mennig mit Schwefelblumen oder semen lycopodii gemengt und in ein leinenes Läppchen gebunden, auf positiv und negativ elektrisirte Stellen einer Glas- oder Harzplatte beutelt, so wird dasjenige Pulver, das an dem andern negativ geworden ist, von den positiven, das andere von den negativen Stellen angezogen, jene Stellen stellen Sterne, diese runde Flecken dar [1].

Es sind dergleichen Versuche von der Zeit an, daſs Dufay zuerst den Unterschied der beiden Elektricitäten entdeckt hat, von sehr vielen Physikern angestellt worden, unter denen besonders Boulanger [2], Symmer [3], Wilson [4], Cigna [5], Wilke [6], Bergmann [7], Herbert [8], Kortum [9], Aldini [10], v. Arnim [11] und andere genannt zu werden verdienen. Man hat aus diesen Versuchen Tabellen gezogen, in denen sich leicht übersehen läſst, welche E. gegebene Körper erhalten, wenn sie mit andern gerieben werden. Cavallo, Lichtenberg [12], Hauy [13] der sehr viele Mineralien in dieser Hinsicht prüfte, Dondorf [14] haben namentlich dergleichen Tabellen geliefert. Am vollständigsten

1 S. *Figuren elektrische.*

2 Traité de la cause et des phénomènes de l'électricité. Paris 1750. 8.

3 Phil. Transact. I. 1. P. I. n. 36.

4 Ebend. 1760. vol. LI.

5 Miscellan. Societ. Taurinens. anni 1765 S. 31 u. f.

6 De electricitatibus contrariis Rostock 1757.

7 Dessen Opusc. phys. et chem. Edit. Hebenstreit V. 399.

8 Theoria phaenomenorum electricorum. Editio altera et emendata. Vindob. 1788.

9 Voigt's Mag. X. St. 2. S. 1. Cavallo a. a. O. II. 19.

10 G. IV. 422.

11 G. V. 33.

12 In Erxlebens Anfangsgründen.

13 Der Naturlehre VI. Auflage 1794. S. 478.

14 Lehre von der Elektr. Erfurt 1784.

hat aber J. W. Ritter[1] diesen Gegenstand bearbeitet. Dieser hat nicht bloſs alle Versuche seiner Vorgänger in einer Reihe von Tabellen zusammengestellt, sondern sich auch bemüht, gewisse allgemeine Gesetze aufzustellen, nach welchen sich zum voraus die Art der E., welche von je zwei an einander geriebenen Körpern jeder derselben erhält, bestimmen läſst, und welche auf die Kräfte selbst, welche hierbei thätig sind, hinleiten können. Was zuerst die ideoelektrischen Körper oder die Isolatoren betrifft, mit welchen dergleichen Versuche am häufigsten angestellt sind, so sucht Ritter für diese das Hauptgesetz zu begründen, daſs sie eine groſse el. Spannungsreihe mit einander bilden, die der Hauptsache nach dieselben Eigenschaften besitze, welche die Spannungsreihe der Erreger des Galvanismus, die durch bloſse wechselseitige Berührung das el. Gleichgewicht stören, charakterisirt[2]. An dem einen Ende der Reihe würde ein mit allen übrigen Isolatoren negativ, an dem andern ein mit allen übrigen positiv werdender Körper sich befinden, und die Körper so auf einander folgen, daſs der dem negativen Ende näher liegende mit allen darauf folgenden negativ, diese positiv durch Reiben mit ihm werden. Die Möglichkeit der Anordnung der Isolatoren in eine solche Spannungsreihe beruhet auf dem Erfahrungssatze, daſs wenn von drei Körpern a, b, c der Körper a mit dem Körper b positiv, letzterer negativ, und b mit c positiv, letzterer negativ wird, um so mehr auch a mit c positiv ausfallen werde. Dem Gesetze der galvanischen Spannungsreihe gemäſs, wenn es in seinem vollen Umfange hier seine Anwendung fände, müſste ferner jeder Körper a, der dem negativen Ende näher steht, mit irgend einem Körper x um so stärker negativ, und dieser um so stärker positiv damit werden, je mehrere Körper in der Reihe zwischen diesen beiden sich befinden, oder je näher jener Körper x dem positiven Ende stände. Vergleicht man nun die mannichfaltigen Versuche, die von so vielen Experimentoren angestellt worden sind, unter einander, so scheint sich wirklich eine solche dem besagten Spannungsgesetze unterworfene Reihe zu ergeben. Folgende Tabelle stellt einige der bekanntesten Isolatoren diesem Gesetze gemäſs geordnet auf:

---

1 Das elektr. System der Körper. Leipzig 1805.

2 S. *Galvanismus*.

— *Schwefel, Bernstein, Colophonium, Siegellack, schwarze Seide, weiſse Seide, Papier, Wolle, Glas, Turmalin, Hasenfell, Kaninchenfell, Diamant, Katzenfell* +

Von diesen Körpern wird der dem obern negativen Ende näher liegende Körper mit allen darauf folgenden negativ, und diese mit ihm positiv, so daſs also gleichsam der Schwefel der absolut negative, Katzenbalg der absolut positive ist. Aber nicht bloſs die Isolatoren unter sich, sondern auch die Isolatoren und Leiter, scheinen eine solche, beide zugleich umfassende, Reihe zubilden, von welcher beifolgende Aufzählung einige der merkwürdigeren in ihrer gesetzmäſsigen Folge zeigt:

— *Schwefel, natürliches Braunstein-Oxyd (Grau Mangan-Erz), schwarze Seide, Silber, Wolle, Kupfer, Glas, Zink, Diamant* +

Ritter zieht aus dieser zweiten Zusammenstellung, verglichen mit der Spannungsreihe der galvanischen Erreger, welche zugleich die Reihe der Leiter ist, das allgemeine Resultat: daſs die *Spannungsreihe der Leiter mit derjenigen der Isolatoren nur eine allgemeine Spannungsreihe ausmache*, indem die Glieder der Reihe der Leiter zwischen denen der Reihe der Isolatoren eben so vertheilt, als gegen sich unter einander selbst liegen; und so umgekehrt auch die Glieder der Reihe der Isolatoren, zwischen denen der Reihe der Leiter, und die Zwischenräume in der einen gleichsam nur die Lücken waren, die durch die Glieder der andern ausgefüllt wurden, daſs es nur *ein* el. System giebt, welches Alles und Jedes, was von Körpern überhaupt auf Erden ist, umfaſst.

Ritter hat einige interessante Ansichten über die Abhängigkeit dieses merkwürdigen und gesetzmäſsigen Verhaltens der Körper in der Elektricitätserregung durch Reibung von anderweitigen Eigenschaften derselben aufgestellt, Ansichten, welche für die Theorie der Elektricitätserregung überhaupt wichtig sind, eine Theorie, welche dahin streben muſs, diese Erregung, geschehe sie nun auf gewöhnlichem Wege, durch eine dem ersten Anscheine nach bloſse mechanische Einwirkung der Körper auf einander oder auf galvanischem Wege durch einen sogenannten chemischen Proceſs, wie die meisten Physiker anzunehmen geneigt sind, wo möglich aus *einem* Principe abzuleiten. In der Reihe der vollkommenen Leiter scheint allerdings eine solche Eigenschaft nachgewiesen werden zu können, von welcher die

Stelle, welche ein Körper in dieser Reihe einnimmt, gesetzmäſsig abhängt, nämlich der Grad der Oxydirbarkeit desselben, oder seiner Verwandtschaft zum Sauerstoff, so zwar, daſs im geraden Verhältnisse derselben ein Körper näher nach dem positiven Ende zu gelegen ist, und von je zwei solchen Leitern der oxydirbarere stets der positive wird. Dagegen scheint es mehr Schwierigkeit zu haben, eine, dasselbe Gesetz befolgende, Abhängigkeit der Isolatoren in ihrem el. Verhalten unter einander und mit den Leitern nachzuweisen, da sehr viele Isolatoren sich einem solchen chemischen Processe, nach welchem die Oxydirbarkeit bestimmt wird, gänzlich entziehen. Vielmehr bestimmen hier mehr gewisse physische Eigenschaften und insbesondere die Beschaffenheit der Oberfläche vorzugsweise dieses Verhältniſs. In dieser Hinsisht scheint besonders die *Rigidität* oder der *Grad* der *Starrheit* und die Modification derselben, welche durch Härte und Weichheit bezeichnet wird, einen vorzüglichen Einfluſs zu äuſsern. Die härtesten unter den Isolatoren sind auch diejenigen, welche vorzüglich geneigt sind, positive Elektr. anzunehmen, und der härteste unter allen, der Diamant, ist auch der am meisten positive. Alle wirklichen Edelsteine, die härter als Glas sind, werden mit diesem positiv, das Glas negativ. Bernstein ist härter als Schwefel, und wird auch mit diesem positiv, Siegellack ist härter als Talk und Bildstein, und weicher als Glimmer; mit ersterem wird er Haüy's Versuchen zufolge, positiv, mit letzterem negativ. Auch die Art, wie die verschiedene Temperatur, welche die Rigidität modificirt, zugleich das elektrische Verhalten der Körper gegen einander bestimmt, stimmt mit dem angegebenen Gesetze überein. Jederzeit erhält nämlich von zwei sonst völlig gleichen Exemplaren eines und desselben Isolators beim Reiben an einander der wärmere — E., der kältere + E. von Herbert, der solche Versuche an Schwefel, Siegellack, Seide und Glas anstellte, fand schon einen Temperaturunterschied von nicht 10° R. vollkommen dazu hinreichend[1]. Auch die Art der Vertheilung der Elektricitäten an zwei Körper von gleicher Beschaffenheit, wenn sie so an einander gerieben werden, daſs für den einen der Werth der Reibung gröſser ausfällt, als für den andern, reducirt sich gröſstentheils hierauf. Es gehören hierher alle

1 S. dessen Theoria phaenomenorum electricorum. Ed. alt. p. 158.

Versuche, wenn man Siegellackstangen, Glasstäbe, Wollenfäden, Seidenfäden, seidene Bänder u. s. w. so über einander hinführt, daſs das eine von ihnen hierbei beständig nur an *einer Stelle* gerieben wird, während bei dem andern die Reibung sich über seine *ganze Länge* erstreckt. Die erstere Stelle wird nämlich dabei um vieles wärmer, als die, mit ihr in Conflict kommenden Stellen des andern Körpers, und sobald dieser Unterschied eingetreten ist, geht die ihr proportionale el. Spannungssetzung vor sich, es tritt nämlich die *negative* E. stets an dieser *wärmeren* Stelle auf.

Es läſst sich vielleicht auf diesen Unterschied der verschiedenen Erwärmung beim Reiben auch der Einfluſs zurückführen, den *Glätte* und *Rauheit der Oberfläche* auf die Art der E. hat, die beim Reiben zum Vorschein kommt. Von zwei sonst gleichartigen Körpern nämlich, die an einander gerieben werden, erhält unter übrigens ganz gleichen Umständen beim Reiben derjenige mit rauher oder matter Oberfläche — E. der andere mit glatter dagegen + E. Der Körper mit rauher Oberfläche (das matt geschliftene Glas z. B.) muſs nämlich beim Reiben wärmer werden, womit denn auch die Rigidität relativ abnimmt. Der Einfluſs, welchen bei seidenen Bändern, Taffent die *Farbe* auf die Elektricität, die an ihnen hervortritt, ausübt, scheint auch von der Glätte und Rauheit der Oberfläche abzuhängen, die allerdings durch die Natur des Pigments bestimmt wird, so wie dann weiſse Seide, die sich gegen schwarze, (die ihre Farbe den Galläpfeln verdankt) positiv verhält, in die Kategorie dieser letztern tritt, wenn sie in Galläpfeldecoct getaucht wird. Damit stimmt auch die allgemeine Regel überein, die Coulomb[1] aus seinen Versuchen für die Art der E., die an jedem Körper erscheint, gezogen hat, daſs diejenigen Substanzen, welche sich beim Aneinanderreiben am meisten ausdehnen, welche also die relativ weniger cohärenten werden, — E., jene hingegen, welche sich dabei am wenigsten ausdehnen + E. erhalten. Einen Beleg hierzu giebt nach seinen Versuchen wollenes Zeug, welches *kalt* an polirten Metallen + E., *kalt* an unpolirten Metallen — E., *erwärmt* an polirten und unpolirten Metallen stets — E. giebt.

---

1 Aus dessen handschriftlichem Nachlaſs von Biot in s. Traité de physique expérimentale et mathématique II. 354.

Dafs Körper im Fortgange des Reibens an einander die zuerst an ihnen aufgetretenen Elektricitäten in umgekehrter Vertheilung zeigen, reducirt sich in manchen Fällen auf die eben angeführten Gesetze. Reibt man z. B. weifses seidenes Zeug mit einem Stücke trockenen Papiers, so wird die Seide gewöhnlich — el. erwärmt man aber das Papier, so wird dieses — el. die Seide + el. Dieses durch die Wärme erregte Vermögen nimmt aber wieder ab, wenn das Papier wieder erkaltet, und es giebt einen Moment, in welchem seine el. Disposition der Seide völlig gleich ist; in dieser Periode bringt das Reiben beider Körper kein merkliches Zeichen irgend einer E. hervor. Ist dieser Zeitpunct vorüber, so werden die Umstände für die Positivität des Papiers durch weiteres Erkalten desselben allmälig noch günstiger, während dieselben der Negativität der Seide gleichgünstig bleiben, und diese tritt dann wieder mit — E., jenes mit + E. auf.

C. H. Müller, der in seinen Anmerkungen zu Singer's Elementen der Elektr. diese und mehrere andere Erfahrungen über die Vertheilung der beiden Elektricitäten an die Körper beim Reiben zusammengestellt hat, glaubt das allgemeine Princip, aus welchem sich jene gesammten Erfolge bei aller scheinbaren Regellosigkeit und Wandelbarkeit gesetzmäfsig ableiten und jedesmal bestimmen lassen, in folgendem Ausdrucke am naturgemäfsesten aufgefafst zu haben. Werden die Oberflächen zweier Körper an einander gerieben, so ist diejenige, deren integrirende Theile am wenigsten von einander weichen, und ihre Lage unter sich wenig oder gar nicht verändern, am geneigtesten + E. anzunehmen, und diese Neigung vermehrt sich durch einen vorübergehenden Druck (das Streben nach Aufsen zu wirken ist mit Widerstand gegen Einflüsse und Eindrücke von Aufsen verbunden). Im Gegentheile erlangt die Oberfläche, deren Theilchen durch die Rauheit der andern Oberfläche oder durch irgend eine andere Ursache am meisten von einander entfernt werden, hierdurch ein Streben — E. anzunehmen und dieses Streben vermehrt sich, wenn die Oberfläche eine wirkliche Ausdehnung erfährt (das Streben, Wirkungen von Aufsen in sich aufzuuehmen, ist mit der Eigenschaft des Nachgebens eins). Je mehr in diesem Act die Oberflächen entgegengesetzt sind, desto energischer ist die E., die sich auf ihnen entwickelt, und sie wird in dem Mafse schwächer, als sie sich einander

gleichen; wäre eine vollkommene Gleichheit möglich, so würde sie Null werden. Wenn auch diese Bestimmung das fragliche Verhältniſs auf ein zu allgemeines des Wirkungsvermögens und der Receptivität, des Widerstandes und des Nachgebens zurückführt, um einen bestimmten Begriff von el. Erscheinungen als solchen geben zu können, so hat meiner Meinung nach Müller doch die richtige Beziehung aufgefaſst, und es läſst sich nicht absehen, wie derselben, vor der Hand wenigstens, eine andere auf irgend eine chemische Eigenschaft gegründete, substituirt werden könnte, wie Ritter es zu thun versucht hat, da er Hydrogeneität als Aequivalent der Rigidität aufstellte, und somit das Verhalten der Isolatoren unter einander und mit den Leitern unter dasselbe Gesetz zu bringen bemüht war, das die Leiter selbst befolgen, indem Hydrogeneität als eins mit Oxydabilität betrachtet werden könnte. Wenn auch der Diamant, vermöge seiner rein verbrennlichen Natur, eine solche Parallelisirung noch zulieſse, so sieht man doch auf keine Weise ein, wie von den meisten Edelsteinen und künstlichen Gläsern, welche aus am vollkommensten verbrannten auf's Höchste oxydirten Metallen bestehen, Etwas dergleichen behauptet werden kann. v. Arnim[1] sucht die Elektricitätserregung dur Reiben, so wie auf jede andere Weise und die Art der Vertheilung der beiden Elektricitäten unter das allgemeine Gesetz zu bringen, daſs hierbei jedesmal eine Aenderung der Wärmecapacität eintrete, und daſs der Körper, dessen Wärmecapacität im Verhältniſs zu einem andern sich vergröſsert, negativ, derjenige dagegen, dessen Wärmecapacität sich vermindert, positiv el. werde. Die einfache Erfahrung der positiven E. des Wasserdampfes, der negativen des zurückbleibenden Wassers spricht indessen schon dagegen, da ja die Wärmecapacität des Wasserdampfes offenbar erhöhet ist, nicht zu gedenken, daſs bei Reibungsversuchen eine solche Wärmecapacitätsänderung nicht nachgewiesen werden kann.

Uebrigens giebt es noch manche Erfahrungen, die sich bis jetzt unter kein Gesetz recht bequemen wollen, wie namentlich mehrere von Dessaignes[2] beobachtete Erscheinungen, so wie dann auch Umstände, die unserer gewöhnlichen Beobachtung sich vollkommen entziehen, auf die Art der in solchen Ver-

1 Dessen elektr. Versuche in G. V. 33.

2 S. Schweigger's Journal IX. 111.

suchen zum Vorschein kommenden E. ihren Einfluſs äuſsern. Der Cyanit (Haüy's Disthène) giebt ein auffallendes Beispiel hiervon. Einige Krystalle von diesem Mineral erlangen vermittelst des Reibens beständig + E. andere — E. und bei einigen contrastiren beide Elektricitäten auf zwei entgegengesetzten Flächen, ohne daſs weder Auge noch Gefühl das geringste Merkmal dieses Unterschiedes in Glanz-Politur oder Farbe der Flächen entdecken können. Uebrigens hat Haüy, dem wir diese el. Beobachtung verdanken, das Verhalten der Mineralien beim Reiben mit als ein Unterscheidungskennzeichen derselben von einander in Anwendung gebracht, und eine Menge Versuche zur Ausmittelung desselben angestellt. Um bei Leitern, also namentlich den Metallen und Erzen, dieses Verhalten zu prüfen, klebte er ein Stückchen des Minerals, das er, wenn es z. B. ein Metall war, zuvor eben feilte, durch Wachs an eine Stange Siegellack, führte es dann 5 oder sechsmal auf einem Stücke Tuch hin und her, und berührte dann damit die Collectorplatte des Condensators. Diese Operation wiederholte er mehrmals. Wurde dann der obere Deckel aufgehoben, so gingen die Strohhälmchen des Elektrometers, auf welchen der Condensator aufgeschraubt war, mit + E. oder — E. aus einander. Hierbei erhielt er folgende Resultate: + gaben: Zink (stark) Silber, Wismuth (stark) Kupfer, Blei, Eisenglanz. — gaben Platin, Gold, Zinn, Antimon, Kupferfahlerz, (stark) Kupferglanzerz (stark) Bleiglanz, Schwefelerz (stark) Antimonsilber, Glaserz (stark) Kupfernickel, Glanzkobolt, gemeiner Speiskobolt, graues Antimonerz, Schwefelkies, magnetischer Eisenstein. Im Ganzen zeigte sich dieses Verhalten als ein rein constantes, nur Eisenglanz, magnetischer Eisenstein und auch Stahl zeigten in verschiedenen Exemplaren ein abweichendes Verhalten von einander. Die Stärke der E. welche einige annehmen, wie Kupferfahlerz und Kupferglanzerz, die, wenn sie 8—10mal über das Tuch hingeführt sind, die Strohhälmchen zum Anschlagen bringen, ist vorzüglich charakteristisch für dieselben[1].

Auch durch Reiben von flüssigen Körpern an starren können ebensowohl die entgegengesetzten Elektricitäten erregt werden. Dies beweisen schon auffallend genug die luftleer ge-

---

1 S. Annales du Museum d'histoire nat. III. 309.

machten Röhren, in welchen Quecksilber hin und her bewegt wird[1] und DESSAIGNES's oben angeführte Versuche beziehen sich vorzüglich auf Elektricitätserregung durch Eintauchen verschiedener Körper in ein Quecksilberbad von verschiedener Temperatur und Wiederherausziehen aus demselben. Doch fehlt es in dieser Hinsicht noch an einer hinlänglichen Anzahl von genauen Versuchen, und die Hauptschwierigkeit hierbei liegt in der Adhäsion der Flüssigkeiten an den starren Körpern. Damit nämlich die durch Reiben erregte E. zum Vorschein komme, ist eine nothwendige Bedingung, daſs die Körper von einander getrennt, und jeder für sich untersucht werde, denn so lange sie sich mit einander in Berührung befinden, binden sich ihre Elektricitäten wechselseitig, und wirken nicht nach Auſsen.

Auch gasförmige Körper erregen durch eine Art von Reibung an den starren Körpern E., wie man daraus ersieht, daſs, wenn man wiederholt mit einem Blasebalge Luft gegen eine Glasplatte hinbewegt, diese auffallende Spuren von + E. annimmt und die Luft folglich — el. geworden seyn muſs.

Wir haben oben gesehen, daſs die beiden Elektricitäten ihre Natur vorzüglich in ihrem Conflicte mit einander verrathen, in welchem sie gleichsam als entgegengesetzte Kräfte gegen einander sich verhalten und sich wechselseitig aufheben. Man kann diesen Gegensatz durch einen Versuch auffallend darstellen. Zwischen zweien Körpern, wovon der eine + E. der andere — E. in gleichem Grade zeigt, sey nun diese E. durch Reibung ursprünglich oder durch Mittheilung von auſsen erzeugt worden, spiele ein dritter leicht beweglicher z. B. eine Hollundermarkkugel an einem seidenen Faden hängend hin und her, und werde wechselsweise von dem einen und dem andern angezogen und abgestoſsen. Dadurch wird immer ein Theil der E. des einen in den andern übergeführt, und neutralisirt, bis endlich beide scheinbar ihre E. völlig verloren haben, d. h. keiner derselben weitere Spuren von el. Wirksamkeit zeigt. Auch wird ein isolirter Leiter gar nicht elektrisirt, wenn er mit einem + el. und einem gleich starken — el. Körper zugleich verbunden ist.

Auſser diesem Gegensatze, der bei der Prüfung gegen die

---

1 S. *Leuchten, elektrisches.*

E. einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange jedesmal die besondere Natur der zu untersuchenden E. anzeigt, kann man beide Arten von E. auch an den Erscheinungen ihres Lichtes im Dunkeln, ihrer verschiedenen Einwirkung auf unsere Sinnenorgane, und ihrem verschiedenen chemischen Verhalten unterscheiden, welche Unterschiede jedoch nur unter bestimmten Umständen, bei Anwendung eigenthümlicher Vorrichtungen und für bestimmte Grade derselben auffallend werden. Wenn man einem positiv elektrisirten Körper eine leitende Spitze entgegen hält, so zeigt sich an derselben, je nachdem sie mehr fein zugespitzt oder etwas abgestumpft ist, ein leuchtender Punct oder Stern mit Zischen begleitet, hält man hingegen eben diese Spitze gegen einen Körper, der — E. hat, so zeigt sich statt des Punctes oder Sternes ein Feuerbüschel, dessen violette Strahlen von der Spitze aus divergiren, und mit merklichem Knistern wie sich ausbreitende Aeste mit Seitenzweige von einem kurzen Stamme ausgehen. Ist der el. Körper selbst mit einer Spitze versehen, und hält man einen platten Leiter dagegen, so sind die Erscheinungen umgekehrt, der Stern zeigt sich, wenn der Körper, mit welchem die Spitze verbunden ist, — E., der Feuerpinsel, wenn der Körper + E. hat. Indessen ist diese Verschiedenheit, wenn man ohne vorgefafste Meinung die Erscheinung blofs an sich auffafst, mehr nur eine gradative als specifische, und die Form jener Lichtausströmung gewährt an und für sich kein sicheres Unterscheidungsmerkmal. Was die früheren Vertheidiger der Franklin'schen Theorie, namentlich Beccaria[1], Cavallo und andere nur als einen leuchtenden Punct gelten lassen wollten, ist in der That nur ein Feuerpinsel im Kleinen mit weniger Knistern als beim positiven Feuerpinsel begleitet. Steht eine nicht zu feine Spitze dem abgerundeten Ende eines durch eine sehr starke Maschine zu hoher Spannung geladenen Leiters entgegen, so zeigt sich an derselben ein sehr merklicher Feuerpinsel und eine etwas abgestumpfte Spitze, die mit dem Leiter des Reibzeuges meiner sehr kräftigen Elektrisirmaschine[2] verbunden ist, giebt mir im Zustande der vollen Wirksamkeit dieser letzteren einen merklichern und stärker zischenden Feuer-

1 Elettricismo artificiale 1753. 4. S. 63.

2 S. *Elektrisirmaschine.*

pinsel, als eine sehr feine Spitze, die mit dem positiven Conductor einer mittelmäfsigen Elektrisirmaschine verbunden ist. Auch kann ich in der Farbe der Strahlen beider Feuerpinsel keinen wesentlichen Unterschied finden. In dem Falle, wenn zwei Spitzen gegen einander gekehrt sind, wovon die eine mit einem Leiter verbunden ist, dem fortdauernd + oder — E. zugeführt wird, sind an beiden die bestimmten Feuerbüschel auf das deutlichste zu erkennen welche ihre Grundflächen gegen einander kehren, nur dafs bei gleicher Feinheit der Spitzen der gröfsere allemal an derjenigen Spitze ist, welche + E. hergiebt. Dafs aus stumpfen Spitzen die Feuerpinsel ansehnlicher ausfallen, hat seinen Grund in der gröfsern Spannung, zu welcher der Leiter elektrisirt werden kann[1]. Diejenigen Physiker, welche in dem Lichte der negativen Spitze mehr nur einen blofsen Punct, als einen kleinen Feuerbüschel erblickten, und diesen leuchtenden Punct mehr von einem Ein- als Ausströmen ableiteten, wollten im Allgemeinen den wesentlichen Unterschied zwischen + E. und — E. finden, dafs sich bei verschiedenen Versuchen ein entschiedenes Ausströmen einer Materie aus denjenigen Körpern zeige, welche + E. haben, und ein Eindringen in diejenigen, an welchen — E. sich finde, gerade so als ob das + E. in einem Ueberflusse, das — E. in einem Mangel von el. Materie bestände; wir werden aber an seinem Orte bei der nähern Kritik dieser Versuche, die unter dem Artikel: *Elektrisirmaschine* und *Flasche, elektrische*, ihre Stelle am schicklichsten finden, nachzuweisen suchen, dafs sie dieses auf keine Weise darthun, dafs vielmehr ebensowohl aus dem — E. habenden Körper etwas auszuströmen, oder vielmehr von ihm in den Raum hinaus mit bewegender Kraft thätig zu seyn scheint, als aus dem + el. Ein merkwürdiges Unterscheidungsmerkmal für die beiden Arten von E. hat Lichtenberg in den verschiedenen Harzstaubfiguren, welche sie unter gewissen Umständen hervorbringen, nachgewiesen[2].

Die verschiedene Art der Einwirkung beider Elektricitäten auf unsere Sinnenorgane zeigt sich nur in ganz einzelnen Fällen, und wird bei Betrachtung der Wirkungen der Volta'schen Säule

---

1 S. *Spitzen*.

2 S. *Elektrophor*.

näher erörtert werden. Nur möge hier vorläufig die Bemerkung stehen, daſs der aus Spitzen ausströmende positive Feuerbüschel auf der Zunge einen sauern Geschmack, der negative dagegen mehr eine brennende Empfindung verursacht. Auch die merkwürdige Verschiedenheit in dem chemischen Verhältnisse der beiden Arten von E., wodurch man sie in bestimmten Fällen erkennen und von einander unterscheiden kann, wird am schicklichsten unter dem Artikel *Galvanismus* näher beleuchtet werden.

III. Erregung der ursprünglichen Elektricität.

Es giebt wohl keine Art von Naturprocessen, in welchem zwei auf irgend eine Art verschiedene Körper oder Materien in Wechselwirkung mit einander treten, ohne daſs zugleich das el. Gleichgewicht zwischen ihnen gestört, und dadurch E. in Thätigkeit gesetzt würde. Diese Störung des el. Gleichgewichtes ist nach Verschiedenheit der Umstände und Bedingungen des Processes entweder von der Art, daſs die Elektricitäten mit freier Spannung auftreten, und in relativer Ruhe, jedoch mit dem Bestreben, sich wieder auszugleichen, an der Oberfläche der Körper verweilen, oder daſs sie in einer fortdauernden Strömung, in einer Art von el. Kreislaufe als Folge des Processes selbst, durch welchen das Gleichgewicht gestört worden ist, sich wieder ausgleichen. Die erstere Art von Elektricitätserregung wird durch die Reaction auf das Elektrometer, die letztere am besten vermittelst eines *Galvanometers* durch die Wirkung auf die Magnetnadel erkannt. Im ersteren Falle haben wir es mit den reinen Wirkungen der E., im letztern mit den Wirkungen des Stromes, in welchem die E. mehr unter der Form des Magnetismus auftritt, zu thun. In gewissem Sinne läſst sich behaupten, daſs dem Strome stets eine el. Spannungssetzung vorangehe, oder daſs zur Bewirkung des Stromes mit den Bedingungen, unter welchen von der einen Seite das el. Gleichgewicht gestört wird, sich zugleich die Bedingungen vereinigen, unter welchen nach der andern Seite hin wieder eine Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts eintreten kann[1].

---

1 S. *Galvanismus*.

Was nun die Processe selbst betrifft, so lassen sie sich unter gewisse Hauptclassen bringen, nach Verschiedenheit der Kräfte, welche hierbei thätig sind, der Natur der Körper selbst, die auf einander wirken, und der Veränderungen der Körper, die dadurch bewirkt werden. Entweder wirken die Körper im Conflicte mit einander mehr mechanisch auf einander, oder sie wirken chemisch. — Dann findet der Conflict entweder zwischen den ponderabeln Körpern unter einander statt, oder zwischen diesen und den Impoderabilien (Licht, Wärme und Magnetismus), und endlich sind die in den Körpern hervorgebrachten Veränderungen bloſse Veränderungen ihrer physischen Eigenschaften, insbesondere ihrer Cohäsion und ihres Aggregatzustandes, oder es sind damit zugleich Qualitäts- oder Mischungsveränderungen verknüpft.

Was die erste Art der Einwirkung der Körper auf einander betrifft, so wird hierbei vorausgesetzt, daſs die Störung des el. Gleichgewichts der mechanischen Einwirkung selbst propostional sey. Diese mechanische Einwirkung setzt also eine bewegende Kraft voraus, wobei die Gröſse der Bewegung *selbst* das bestimmende Moment wäre. Indeſs giebt es wohl keinen el. Conflict, bei welchem nicht zugleich die eigenthümliche Qualität der Körper neben der Gröſse der Bewegung, mit welcher sie auf einander einwirken, in Betrachtung käme, welche also nicht aus diesem Gesichtspuncte zugleich eine chemische oder eine chemisch-dynamische wäre, insofern die eigenthümliche Qualität eines jeden Körpers der Ausdruck seines inneren Kräfteverhältnisses ist.

Die erste leiseste mechanische Einwirkung der Körper auf einander, ist die der bloſsen *wechselseitigen Berührung*. Sie allein reicht schon hin zur Störung des el. Gleichgewichts und kann in gewisser Hinsicht als die reichste Quelle der Elektricitätserregung in der Natur betrachtet werden. Von ihr wird unter dem Artikel *Galvanismus* näher gehandelt werden. Die nächste Stufe der mechanischen Einwirkung der Körper auf einander ist *reiner Druck* ohne Reibung. Coulomb hat zuerst auf die E. aufmerksam gemacht, die von einem schnellen Druck abhängt, nach ihm hat Dessaignes die Sache weiter verfolgt, aber mannigfaltige Anomalien und Regellosigkeiten in den Wirkungen des Druckes nach Verschiedenheit der begleitenden Umstände beobachtet; auch Haüy machte gelegentlich eine der-

gleichen Beobachtungen namentlich an kleinen Kalkspathkrystallen, die durch den Druck zwischen den Fingern lange und stark el. werden, besonders aber hat Becquerel in neueren Zeiten eine Reihe interessanter Versuche über die Erregung der E. durch Druck bekannt gemacht [1]. Er bediente sich zu seinen Versuchen kleiner Stäbchen von ¼ bis ¼ Zoll Durchmesser, wovon jedes durch etwas Siegellack an einen Glasstab, der selbst an einer hölzernen Handhabe gehalten wurde, befestigt war. Ist bloſs die eine Scheibe isolirt, so bemerkt man die E. auch bloſs an dieser. Auch weichere Körper werden durch Druck el. z. B. Kork, Caoutchouc, frische Pommeranzenschalen, selbst zähe Flüssigkeiten, z. B. Terpentin über dem Feuer eingedickt, wenn es durch eine Korkscheibe gedrückt wurde. Je schneller die Trennung der Scheiben nach dem Druck bewirkt wird, um so stärker fällt die E. aus, gleichsam als bekäme sie durch Langsamkeit Zeit, gröſstentheils wieder ins Gleichgewicht zu kommen. Wenn eine oder beide Scheiben aus Isolatoren bestanden, so erfolgte diese Wiederherstellung langsamer, und innerhalb einer gewissen Zeit zeigten daher solche Scheiben nach einem vorhergegangenen stärkeren Druck stets eine stärkere E., als der Druck, dem sie zuletzt unterworfen waren, für sich allein hervorgebracht hätte. Man konnte also gleichsam den Druck als die Kraft betrachten, welche, so lange er bestand, und nach dem Maſse, in welchem er bestand, die Störung des el. Gleichgewichts unterhielt, und das Streben der beiden getrennten Elektricitäten zur Wiedervereinigung balancirte, welches beim Nachlassen des Druckes dann nur noch einigermaſsen durch den Widerstand, den die isolirende Eigenschaft leistete, beschränkt wurde. Bestanden daher die beiden Scheiben aus vollkommenen Leitern, so zeigten sie eben daher keine Spur von E., weil in dem Augenblicke des Aufhörens des Drucks, der dem Augenblicke der Trennung gleichsam voraus ging, die Bedingung zur Wiedervereinigung beider Elektricitäten und zur Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts in der vollkommenen Leitungsfähigkeit beider Körper gegeben war.

Auch in der Erregung der E. durch Druck scheint in Absicht auf die Art von E., die an jedem der beiden Körper auf-

---

1 An. de Chemie et de Physique Tome XXII. p. 1.

tritt, das allgemeine Gesetz zu herrschen, welches oben für die Erregung der E. durch Reibung aufgestellt worden ist, daſs wenn von einer Reihe von Körpern a, b, c u. s. f. a im Conflicte mit b positiv, letzteres negativ, und in dem Conflicte von b mit c, ersteres positiv, letzteres negativ wird, dann auch a mit c positiv ausfällt. So wurden z. B. in jenen Versuchen Becquerel's Kork, Caoutchouc und Orangenschalen, von denen isolirte Scheiben an einander gedrückt wurden, die Orangenschalen mit Caoutchouc —, dieses +, der Kork mit dem Caoutchouc + dieses —, aber auch der Kork mit den Orangenschalen +, diese —, so daſs also von dem positiven Ende ausgegangen, diese drei Körper so auf einander folgen: + Kork, Caoutchouc, Orangenschalen —. Ob übrigens die Körper in Absicht auf die Erregung der E. durch den bloſsen Druck dieselbe Ordnung wie bei der Erregung durch Reibung beobachten, läſst sich aus dem Mangel an einer hinlänglichen Anzahl von Versuchen bis jetzt nicht mit Sicherheit entscheiden, ist indessen nach den bereits vorhandenen sehr zweifelhaft. Die meisten Versuche, die darüber entscheiden können, hat Becquerel mit einer Korkscheibe in Absicht ihres Verhaltens gegen verschiedene andere Körper angestellt. Mit isländischem Doppelspath, Fluſsspath, Gyps, Glimmer, Schwerspath, mit allen thierischen Theilen, wenn sie nicht feucht sind, wird die Korkscheibe negativ, jene werden positiv, dagegen mit Cyanit, Retinasphalt, Steinkohlen, Bernstein, Kupfer, Zink, Silber, den Haaren des Menschen und der Thiere wird eben diese Korkscheibe positiv, jene werden negativ. Hygrometrische Feuchtigkeit verhindert die Elektricitätserregung durch Druck, und jene oben angegebenen Körper, wie Fluſsspath u. s. w. müssen daher vorher gelinde erwärmt werden, um sie von der anhängenden Wasserhaut zu befreien. Auch die Wärme äuſsert einen bedeutenden Einfluſs auf diese Phänomene, und modificirt sie im Wesentlichen auf dieselbe Art, wie bei der Elektricitätserregung durch Reiben. Der Unterschied der Temperatur ist allein hinreichend, zwischen zwei Scheiben, die sonst in allem vollkommen gleichartig sind, und die also eben so wenig durch Druck als durch Reiben Elektricitätserregung zeigen würden, diese zu vermitteln. Zwei ganz gleichartige Scheiben eines vollkommen trokkenen Korks, die man dadurch erhält, daſs man denselben mit einem recht scharfen Messer in der Mitte durchschneidet, zei-

gen auch nach dem stärksten Druck bei der Trennung keine Spur von E.; erhöht man aber die Temperatur der einen an einer Lichtflamme, so tritt sogleich E. auf, und zwar negative an dem wärmeren. Dasselbe gilt auch für zwei Scheiben von Doppelspath, wenn selbst die Verschiedenheit der Temperatur beider nur sehr geringe ist. Erhitzt man eine Scheibe Doppelspath hinlänglich stark, so wird sie zuletzt mit einer Korkscheibe negativ, mit der sie sonst bei Gleichheit der Temperatur oder bei geringem Uebergewichte ihrer Wärme stark positiv wird.

So weit die Versuche gehen, scheint die Stärke der erregten E. mit der Stärke des Drucks zuzunehmen, wovon sich Becquerel durch einen sehr genauen el. Versuck überzeugt hat.

Becquerel leitet das Licht, das in manchen Fällen beim heftigen Stofsen verschiedener Körper entsteht, aus dieser Quelle her. So will man im Eismeere oft ein lebhaftes Licht bemerkt haben, wenn grofse Eismassen an einander stofsen. Sie müssen in diesem Stofse eine starke Zusammendrückung erfahren, welche jede dieser Massen in einen in Beziehung auf die andere entgegengesetzt el. Zustand versetzt. In dem Augenblicke, in welchem der Druck aufhört, verbinden sich die beiden Elektricitäten wieder wegen der relativ grofsen Leitungsfähigkeit des Eises, und diese schnelle Wiedervereinigung wird, wie in allen andern Fällen, wo sich grofse Quantitäten E. schnell ausgleichen, mit Lichtentwickelung verbunden seyn. Diese Erklärung setzt indessen voraus, dafs jene Eismassen von einander selbst in irgend einer Eigenschaft merklich abweichen. Das el. Licht, welches entsteht, wenn Stücke von Zucker, Blende, Quarz, Chalcedon u. d. g. gestofsen oder an einander gerieben werden, rechnet Becquerel gleichfalls zu den el. Pressionsphänomenen. Doch ist diese Erscheinung schon complicirter, da wenigstens stets Reiben zugleich damit verbunden ist, und sich mindestens beim Quarz und Chalcedon ein ganz eigenthümlicher empyrheumatischer Geruch entwickelt. Aber wohl kann man fragen, ob nicht alle *Entzündungen* brennbarer Körper mit chlorsauren oder salpetersauren Salzen, die durch einen schnell vorübergehenden heftigen Druck, durch einen starken Hammerschlag eingeleitet werden, von der dabei statt findenden Elektricitätserregung abhängen, die gleichsam eben so wirkt, wie wenn man einen el. Entladungsschlag durch diese Körper hindurch gehen liefse.

Soferne der Druck in einem bestimmten Verhältnisse ge-

gen die Cohäsion steht, die gleichsam durch ihn verstärkt wird, so reiht sich an diese Art der Elektricitätserregung durch mechanische Einwirkung gleichsam die entgegengesetzte an, wo auf eine eigenthümliche Weise die *Cohäsion aufgehoben wird.* Auch über diese Art der Elektricitätserregung verdanken wir neuerlich Becquerel einige interessante Versuche [1]. Macht man an einem Glimmerblättchen einen kleinen Spalt, befestigt die getrennten Blätter an einer Handhabe, und reifst die Blättchen von einander, so wird die Trennungslinie im Dunkeln leuchten, und jedes Blatt ist entgegengesetzt el. Dies geschieht auch mit andern krystallisirten Mineralien, die auf dieselbe Art behandelt werden können, z. B. Gyps, Kalkspath u. s. w., eben so mit einer auf dieselbe Art behandelten Spielkarte. Dafs dieses Phänomen eine Beziehung auf die Cohäsion habe, und in gewisser Hinsicht das Entgegengesetzte des Vorhergehenden sey, leuchtet ein. Becquerel bemerkt richtig, dafs, da dasselbe Phänomen auch für das dünnste noch trennbare Blättchen gleichmäfsig gelte, man den Schlufs machen könne, dafs auch bei der Trennung der kleinsten Theilchen von einander das gleiche Phänomen sich einstellen müsse. Er vermuthet mit Recht, dafs die Intensität des Phänomens, sich wie der Grad der Cohäsion, die aufzuheben ist, verhalten müsse. Die von Adams [2] bemerkte Erscheinung, dafs wenn man eine Siegellackstange zerbricht, das eine Ende + E., das andere Ende — E. zeigt, möchte auch hierher zu zählen seyn.

Die häufigste Art der Elektricitätserregung durch mechanische Einwirkung der Körper auf einander, ist endlich die durch *Reiben*, die zwar nie ohne Druck statt finden kann, aber doch in ihrer Wirkungsart vom Druck noch wohl unterschieden werden mufs, da das el. Verhalten zwischen zwei Körpern entgegengesetzt ausfällt, je nachdem sie durch Druck oder Reiben auf einander wirken, wie aus einem Versuche von Libes erhellet. Er besteht nämlich darin, eine an einem isolirenden Handgriffe gehaltene Metallscheibe durch hinlänglich starken Druck auf einfachen oder mehrmals zusammengelegten Wachstaffent wirken zu lassen. Dadurch wird der Taffent + das Metall —. Der Effect ist um so gröfser, je stärker der Druck ist, aber er

---

1 a. a. O.
2 Versuch über die E. S. 3.

hört sogleich auf, sobald der Taffent jene Klebrigkeit verloren hat, die seine Oberfläche leicht zusammendrückbar macht. Führt man dagegen das Metall mit Reibung über den Wachstaffent hin, so wird der Taffent —, das Metall +.

Es gilt übrigens für die Erregung der E. durch Reiben dasjenige, was von der Erregung durch Druck gesagt worden ist, unter einigen besondern Einschränkungen. So werden also vollkommene Leiter an einander gerieben, keine Spur von E. zeigen, wenn sie nicht isolirt sind, weil die erregte E. sich sogleich wieder mit derjenigen des Erdbodens zu 0 ausgleichen kann; dagegen wird der wesentliche Unterschied statt finden, dafs da beim Reiben die Puncte, welche durch ihre Einwirkung auf einander, die gegenseitigen Elektricitäten hervorbrachten, durch den Act des Reibens selbst von einander entfernt werden, die Ausgleichung zwischen zwei isolirten Leitern nicht so erfolgen wird, wie beim Aufhören des Druckes. Uebrigens ist es eine irrige Ansicht, wenn einige Physiker, wie auch Gehler [1], den Grund, warum die E., die beim Reiben der vollkommenen Leiter an einander zum Vorschein kommt, nur so schwach ist, darin suchen, dafs sich dieselbe augenblicklich durch die ganze Substanz derselben vertheile, da bei Nichtleitern ein Theil den andern isolirt, und der erregten E. nicht erlaubt, sich zu verbreiten. Da jede frei auftretende E., wie weiter unten gezeigt werden wird, nicht in die Substanz der Körper eindringt, sondern sich nur an der Oberfläche ausbreitet, so kann, wenn zwei gleiche Flächen eines Leiters und Nichtleiters gerieben werden, und die ganze Ausdehnung des geriebenen Körpers sich blofs auf die geriebenen Flächen einschränkt, der Unterschied der el. Intensität von dieser Verschiedenheit offenbar nicht abhängen, da ja die erzeugten Elektricitäten dann auf gleichen Flächen ausgebreitet sind. Anders ist freilich der Fall, wenn die geriebenen Körper aufser der geriebenen Fläche noch eine anderweitige Ausdehnung haben, wo sich allerdings über der ganzen Fläche des Leiters die erzeugte E. ausbreiten, und in dem Verhältnisse der vergröfserten Oberfläche an Intensität abnehmen wird, während bei dem Nichtleiter die erregte E. an der geriebenen Oberfläche mit ungeschwächter Intensität haftet.

---

1 in seinem physikalischen Wörterbuche.

Um stärkere Grade von E. zu erhalten, reibt man die Nichtleiter am besten durch Reibzeuge, die eigends dazu eingerichtet, durch Federn u. s. w. angedrückt werden [1]. Man erhält in solchen Fällen stets das Maximum von E. an den geriebenen Körpern, wenn das Reibzeug mit dem Erdboden in leitender Verbindung sich befindet.

An diese mechanischen Erregungsarten der E., in welchen *eine* deutliche Beziehung auf die Cohäsion zu erkennen ist, schliefsen sich am passendsten diejenigen an, welche von einer Aenderung des Aggregatzustandes der Körper abhängen. Eine Art durch Veränderung des Aggregatzustandes der Körper E. zu erregen, ist das Schmelzen. So kann man die E. des Schwefels, Wachses, Siegellacks, der Chocolade hervorrufen. Schwefel in einem irdenen Gefäfse geschmolzen, auf einem Leiter abgekühlt, und dann aus diesem Gefäfse genommen, erscheint stark el. In einem gläsernen Gefäfse geschmolzen und abgekühlt, erhält er starke — E. und das Glas + E., besonders wenn die Abkühlung auf Leitern geschieht, oder das Glas mit Metall belegt gewesen ist. Geschmolzener Schwefel, in metallene Gefäfse aus Zinn oder Kupfer gegossen, zeigt abgekühlt keine E.; nimmt man ihn aber heraus, so hat er + E., das Metall — E.; die E. hört auf, sobald man ihn wieder in das Gefäfs setzt. Chocolade zerlassen und in zinnernen Pfannen abgekühlt, wird stark el., behält auch, wenn man sie herausnimmt, diese Eigenschaft eine Zeitlang. Sie wird von neuem el., wenn man sie wiederum zerläfst und auf Zinn abkühlt, und wenn sie nach einigen Wiederholungen diese Eigenschaft verliert, so kann man ihr dieselbe durch etwas Baumöl wieder geben. Die el. Ladung der Chocolade erreicht, besonders wenn man sie recht heifs in die Blechkapsel bringt, und darin schnell erkalten läfst, oft einen so hohen Grad, dafs die herausgenommenen Tafeln im Dunkeln sichtbare weifse knisternde Funken auf einige Entfernung geben. Auch scheint die bisweilen auf der Oberfläche der Chocolade nach dem Erkalten in den Blechkapseln beobachtete Zeichnung von besonderen, kleinen, geschlängelt-netzförmigen Figuren eine Folge der el. Entladung zu seyn [2]. Diese Beobachtungen, besonders den Schwefel be-

1 S. *Elektrisirmaschine.*

2 Vergl. Kastner's Archiv VI. 472., wo sich die hierher gehörige

treffend, sind zuerst von WILKE [1] bekannt gemacht worden, welcher die auf diese Weise erregte E. von der durch Reiben entstandenen durch die Bezeichnung einer E. spontanea unterscheidet. Indefs hängt die in diesen Fällen erzeugte E. nicht vom Schmelzen an sich, oder von der Veränderung des Aggregatzustandes, als nächster oder unmittelbarer Ursache, sondern ohne Zweifel vom Reiben ab, das unter besonders günstigen Umständen in diesen Fällen eintreten kann. Die Holländischen Physiker VAN MARUM und PAETS VAN TROOSTWYK [2] haben durch Versuche gefunden, dafs geschmolzene Massen, wie Gummilack, Harz, Pech, so lange sie ruhig in den Gefäfsen stehen, nicht die mindeste Spur von E. zeigen, und dafs isolirte Metallplatten, die man in diesem Zustande auf sie hält, unter vorsichtiger Vermeidung aller Reibung, und dann wieder nach dem Erkalten davon trennt, so wenig als die geschmolzenen Massen selbst die mindeste Spur von E. zeigen. Erst das Ausschütten, oder vielmehr das Auseinanderfliefsen des Geschmolzenen bringt die E. hervor, die also in diesem Falle nicht ohne Reibung auftritt. Dies findet noch weit mehr in den oben angeführten Versuchen statt, denn ein geschmolzener Körper kann nicht ohne Reiben erhärten oder vom Gefäfse getrennt werden, auch geschieht hier das Reiben unter sehr vortheilhaften Umständen, nämlich bei genauer Berührung und höchster Trockenheit. Endlich sind die Elektricitäten an die beiden Körper gerade so ausgetheilt, wie sie auch beim wirklichen Reiben derselben an einander zu Vorschein kommen.

Dagegen scheint diese Zurückführung der Elektricitätserregung auf dabei statt findendes Reiben als Quelle derselben keine Anwendung auf die Erklärung der el. Erscheinungen, welche

---

Literatur findet. Für die in der dortigen Anmerkung aufgestellte Behauptung des Herausgebers, dafs Schwefel in *silbernen* Gefäfsen geschmolzen während der Schmelzung und des Geflossenseyns *negativ* el., das Silber hingegen stark *positiv* sey, beim Erkalten aber die E. sich umkehren, hätte ich die Nachweisung einer glaubhaften Autorität gewünscht. Ich bezweifle aus mehr als einem Grunde, dafs der Schwefel, so lange er geflossen ist, merkliche E. zeigt, wenigstens haben mir die empfindlichsten Elektrometer keine Spur davon gezeigt.

1 S. Disputatio physica experimentalis de electricitatibus. Rostochii 1757.

2 J. d. P. 1788. Oct. p. 248.

das Wasser bei Veränderung seines Aggregatzustandes zeigt, zuzulassen, worüber vorzüglich Th. von Grotthuss [1] Versuche angestellt hat. Wasser, das in einem, wie eine Leidner Flasche von aufsen belegten, Glase in einer sehr niedrigen Temperatur (— 24° R.) schnell gefror, wurde positiv, in hoher Temperatur schnell geschmolzen, zeigte es negative E. Da Eis mit Glas gerieben — E. giebt, so konnte die E. nicht von einer Art von Reibung des werdenden Eises am Glase hergeleitet werden, auch gab dieser Versuch in einem blechernen Gefäfse dasselbe Resultat. Ob hierbei nicht vielmehr ein starker Druck, den das zu Eis werdende Wasser nach allen Seiten, und so auch auf das Glas ausübte, diese Elektricitätserregung verursachte? Sahen wir ja auch in einem oben angeführten Versuche bei zwei Körpern durch Druck gerade die entgegengesetzte E. von derjenigen durch Reiben erregt.

Dafs Wasser beim Verdampfen aus Gefäfsen diese negativ zurückläfst, ist schon eine alte Erfahrung [2]. Grotthuss erhielt dieses Resultat, die Verdampfung mochte in Gefäfsen von Eisen, Kupfer oder chemisch reinem Silber geschehen. Wasser auf an der Luft zerfallenes Glaubersalz oder gebrannten Alaun getröpfelt zeigte negative E., also beim Festwerden in diesem Falle die entgegengesetzte von derjenigen beim Eiswerden. Dafs nicht Verdampfung, welche sonst das Wasser negativ zurückläfst, die Ursache seyn konnte, bewies der Umstand, dafs auch der gebrannte Kalk, noch ehe Erhitzung eintrat, diese E. entwickelte, wenn Wasser darauf getröpfelt wurde.

Unter die Kategorie der von der Aenderung des Aggregatzustandes abhängigen Elektricitätserregung gehören vielleicht auch die meisten Lichterscheinungen, welche so oft bei der Krystallisation der Salze beobachtet worden sind. Das Licht zeigt sich gewöhnlich in lebhaften Funken, die bald von diesem, bald von jenem Puncte der Krystalle ausgehen. Die Erscheinung dauert oft mehrere Stunden, so wie die Krystallisation fortschreitet, die Flüssigkeit, aus welcher sich die Krystalle bilden mehr und mehr verdunstet, aber sonderbar ist es, dafs dieselbe Masse von Krystallen, welche die auffallendste Lichterscheinung

1 Schweigg. J. IX. 221.

2 S. *Condensator.*

gaben, frisch wieder aufgelöst, und einer neuen Krystallisation ganz unter denselben Umständen unterworfen, diese Lichterscheinung zum zweitenmale dann nicht wieder zeigen. Von dem schwefelsauern Kali, bei dessen Krystallisation diese auffallende Lichterscheinung am häufigsten beobachtet wurde, führen schon ältere Chemiker dies an, und GIOBERT sieht es als eine nothwendige Bedingung zur Lichtentwickelung an, daſs die Lauge vorher dem Lichte und der Luft ausgesetzt war; dasselbe bemerkte ich bei einer Auflösung von salpetersaurem Strontian, die vorher längere Zeit dem Lichte und der Luft ausgesetzt die auffallendsten Lichtfunken beim Krystallisiren zeigte, nicht aber von neuem, als die Krystalle wieder aufgelöst und sogleich zur neuen Krystallisation gebracht wurden[1]. Eine gleiche Erfahrung machte BERZELIUS bei der Krystallisation einer gesättigten Auflösung von fluſssaurem Natron[2], dasselbe bemerkte auch WÖHLER an einer Auflösung von schwefelsaurem Kali[3]. Man könnte daher gegen die wirkliche el. Natur dieses Phänomens noch einige Zweifel hegen, und dasselbe als ein phosphorisches im engern Sinne betrachten, wenn nicht andere Erwägungen, die aus der elektrochemischen Theorie herzunehmen sind, für die el. Natur desselben sprächen[4]. Ohne Zweifel gehört auch hierher das glänzende Lichtphänomen, welches BUCHNER bei der Sublimation der Benzoësäure beobachtete, wo die feinen Krystalle, die sich aus dem Dampfe ausschieden, wie die glänzendsten Lichtfunken erschienen. Krystallisirte Salze zeigen auch unmittelbar nach ihrer Krystallisation ihre E. am Elektrometer. Doch fand GROTTHUSS in Absicht auf die Beschaffenheit der E. nichts Constantes, da Alaun, Salmiak und Salpeter bald positiv, bald negativ erschienen.

Wenn jede Veränderung des Aggregatzustandes wesentlich von einem veränderten Verhältnisse gegen die Wärme abhängt, so folgt hieraus eine nahe Verwandtschaft der Elektricitätserregung durch eine solche Veränderung mit derjenigen durch auf-

1 Schweigg. J. XIV. 275.

2 Jahresberichte von Berz. IV. Jahresbericht S. 45.

3 Ebendas.

4 Vergl. vorzüglich einen interessanten Aufsatz: von dem Herausgeber: Ueber Lichterscheinung bei der Krystallisation in Schweigg. Journ. N. R. XI. 221. auch IX. 291 und X. 271.

fallenden Wechsel der Temperatur, ohne dafs dadurch der Aggregatzustand selbst verändert würde. Ich meine hier das Hervorrufen einer el. Polarität an vielen krystallisirten Mineralien, welches in so vielen Fällen sich zeigt, dafs mehrere Physiker diese Classe von Erscheinungen mit einem eigenen Namen der *Pyro*- oder *Thermo-Elektricität* zu bezeichnen angefangen haben [1].

Von Elektricitätserregung durch blofse *Lichtbestrahlung* fehlt es an einer Erfahrung, und immer würde eine solche es zweifelhaft lassen, ob nicht vielmehr die Wärme das thätige Princip dabei gewesen sey.

Wenn man erwägt, dafs die neuere Theorie der Chemie alle Wirkungen der Verwandtschaft auf das Spiel el. Kräfte zurückzuführen bemüht ist, so sollte man glauben, dafs die chemischen Processe durch die Elektricitätserregung vorzüglich vermittelt werden. Dieser Ansicht huldigen viele Physiker, und wir werden unter dem Artikel *Galvanimus* Gelegenheit haben, dieselbe näher zu prüfen. Hier möge nur im Allgemeinen bemerkt werden, dafs keine einzige sichere Thatsache vorhanden ist, durch welche der Beweis geführt werden könnte, dafs durch den chemischen Procefs als solchen das el. Gleichgewicht gestört, und die vorher ruhenden Elektricitäten entweder in eine freie Spannung versetzt oder zum el. (galvanischen) Kreislauf in einer geschlossenen Kette aufgeregt würden. Der französische Physiker Becquerel glaubte zwar, durch sehr unzweideutige Versuche diese Elektricitätserregung als Folge chemischer Wechselwirkung bewiesen zu haben. Er bediente sich dazu eines elektromagnetischen Multiplicators, der so zugerichtet war, dafs das eine Ende des mehrmals umschlungenen Metalldrahts in eine angelöthete, etwas geräumige, Vertiefung, oder einer Art Schälchen von Platin, das andere in eine Zange von demselben Metalle ausging. Gofs nun Becquerel eine Säure in die Vertiefung, und wurde ein Stück kaustisches Alkali oder irgend eine andere basische Substanz mit der Zange gefafst und in die Säure gebracht, so zeigte die Abweichung der Magnetnadel, welche sich im Wirkungskreise des Multiplicators befand, die Entstehung eines el. Stromes an. Von der Säure ging *positive*, von dem Alkali *negative* E. aus, und der el. Strom

1 S. *Krystallelektricität*.

war um so kräftiger, je gröfser die Verwandtschaft zwischen den Körpern war, die sich verbanden. Um die Verbindung langsamer zu bewerkstelligen kann der eine der hierzu anzuwendenden Körper in eine nasse Blase eingeschlossen werden. Metalloxyde wirkten gegen Alkalien wie Säuren; dasselbe thaten Erden und Metallsalze. Durch doppelte Zersetzungen, wo die Basen und Säuren gesättigt blieben, erhielt Becquerel kein Zeichen von el. Strömung, ausgenommen wenn Eisenvitriol durch blausaures Eisenkali gefällt wurde, wobei ersterer nach Art einer Säure wirkte[1]. Selbst bei Auflösung von trockenen Säuren in Wasser, ja beim Zusammenkommen von concentrirten flüssigen, wie der Salpetersäure oder Schwefelsäure mit Wasser, zeigte sich jene el. Wirkung. Nur wurde bei Anwendung der flüssigen Säuren, weil sie nicht unmittelbar von der Platinzange gehalten werden konnten, Platinschwamm damit getränkt, der von der Platinzange gefafst nunmehr in das destillirte Wasser des Platinlöffelchens getaucht wurde. Die Richtung des el. Stromes war hierbei eben dieselbe, als wenn das Wasser eine Base wäre, und umgekehrt, wenn kaustisches Alkali in Wasser aufgelöst wurde, so gab der el. Strom zu erkennen, dafs das Wasser wie eine Säure wirkte. Nur die Salzsäure machte eine Ausnahme, indem sie sich gegen das Wasser el. positiv verhielt, worin sich diese Säure andern durch Wasser verdünnten Säuren gleich verhielt, die, wie ich schon früher von der Schwefelsäure gezeigt habe[2], ihren el. Werth durch die Verdünnung mit Wasser umkehren, was auch mit Seebeck's Versuchen über die thermomagnetische Reihe der Körper übereinstimmt. Bei der Auflösung von Salzen in Wasser fand Becquerel wenig oder keine el. Wirkung, nur bei der Auflösung von schwefelsausem Natron und salzsaurem Baryt wurde eine geringe Spur davon bemerkt, wobei sich das Wasser gleich einer Säure verhielt. Becquerel untersuchte ferner die el. Phänomene, welche bei der Vereinigung zweier Säuren entstehen, er erhielt aber nur veränderliche und anomale Wirkungen.

Da die Capillarität auf der Anziehung der kleinsten Theilchen einer Flüssigkeit gegen die Materie des Haarröhrchens beruht, die gleichsam die erste Stufe der Anziehung ist, so

---

1 Schweigg. J. N. R. IX. 385.

2 Gehlen's Journ. d. Ch. und Ph. V. 82.

schienen die Versuche über die Elektricitätserregung durch Capillarität durch ihre Resultate, jene über die Elektricitätserregung durch eigentliche chemische Action noch weiter zu bestätigen. Um diese Wirkung darzustellen, bediente Becquerel sich eben so des aus dem Platinsalmiak bereiteten Platinschwammes, wie in den oben angeführten Versuchen, faſste die poröse Masse an dem einen Ende mit der Zange des Multiplicators und tauchte sie in die im Platinlöffel am andern Ende des Multiplicators enthaltene Salpetersäure. Dabei entstand, so lange der Platinschwamm die Säure einsog, ein el. Strom in entgegengesetzter Richtung, als es hätte der Fall seyn sollen, wenn die Säure das Metall angegriffen hätte, und sobald die Poren mit Säure gefüllt waren, hörte alle Wirkung auf. Wasser statt der Säure, that keine Wirkung, weil, wie Becquerel meint, es ein zu schlechter Leiter der E. ist, aber auch concentrirte Salpetersäure, wenn gleich ein besserer Leiter als verdünnte, brachte eine schwächere Wirkung wie diese hervor[1].

Alle diese Versuche beweisen aber meines Dafürhaltens durchaus nicht, was Becquerel dadurch bewiesen zu haben glaubt, da sich alles sehr gut aus den Gesetzen der Contact-E. erklären läſst, und kein Grund vorhanden ist die chemische Action als solche als die Quelle der el. Strömung anzusehen. In allen obigen Versuchen wirkte nämlich eine einfache galvanische Kette aus zwei Leitern der zweiten Classe (feuchten Leitern) und einem Leiter der ersten Classe, dem Platin, das an beiden Enden des Multiplicators angebracht war, und wovon das eine, den einen, das andere den andern feuchten Leiter berührte, und die Stärke und Richtung des el. Stromes war dann jedesmal das Resultat der combinirten Zusammen- und Entgegenwirkung der Störung des el. Gleichgewichts in den drei Berührungspuncten, zwischen dem Platin (der Zange oder dem Schwamme) und dem einen feuchten Leiter, dem Platin (dem Löffelchen) und dem andern feuchten Leiter und den beiden feuchten Leitern unter einander selbst. Diese Kettenwirkung muſste so lange fortdauern, als noch in irgend einem Theile des Raumes die wechselseitige chemische Verbindung zwischen den beiden feuchten Leitern nicht erfolgt war, d. h. so lange noch die feuchten Leiter in ihrer Heterogeneität in einer endlichen

1 Schweigg. Journ. N. R. X. 408.

Menge neben einander existirten, folglich in Berührung mit einander waren und schon vermöge dieser allein das el. Gleichgewicht stören mussten. Dasselbe hat auch BERZELIUS bemerkt wenn er[1] nach summarischer Anführung obiger Versuche hinzufügt. Er müsse bemerken, dass diese Versuche von ganz gleicher Natur mit denen seyen, die mittelst Säulen von einem Metall und zwei Flüssigkeiten gemacht werden, zu deren Beweiskraft sie nichts zulegen können[2].

Was die Elektricitätserregung durch *Capillarität* betrifft, so scheint auch hier alles sich auf die Wirkung einer galvanischen Kette aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit zurückführen zu lassen, indem es aus andern galvanischen Versuchen bekannt ist, dass die Verschiedenheit eines und desselben Metalls an Politur, Glanz, Wärme u. s. w. schon hinreicht, zwei solche Stücken oder Enden gleichsam zu Aequivalenten von zwei heterogenen Metallen zu machen, und die Verschiedenheit zwischen einem polirten Stücke Platin und dem Platin in Form des Schwammes die gröfstmöglichste ist, die in dieser Hinsicht statt finden kann.

IV. Mittheilung der E. Austheilung derselben an die Leiter. Gesetze für die Capacität isolirter Leiter. COULOMB's Untersuchungen. Wirkungen der mitgetheilten E. auf Thiere, Pflanzen, verdunstende Materien und Gasarten.

Ein elektrisirter Körper theilt seine E. andern ihn berührenden mit, und verliert dadurch soviel, als er mitgetheilt hat. Ist er ein Leiter, so vertheilt sich dieser Verlust über den ganzen Körper, und alle seine Theile zeigen die el. Erscheinungen schwächer; ist er aber ein Nichtleiter, so trifft der Verlust nur die berührte Stelle, weil die nicht leitende Eigenschaft dem Streben nach Ausgleichung Widerstand leistet. So benimmt man einer geriebenen Glasröhre durch Berühren mit dem Finger ihre E. nur an dieser Stelle, um sie ganz zu entziehen, muss man sie mehrmals und an vielen Stellen berühren. Einem Metall-

1 IV. Jahresbericht S. 25.

2 Vergl. *Galvanismus.*

stabe aber entzieht die Berührung eines mit der Erde verbundenen Leiters alle seine E. auf einmal.

Wieviel ein Körper durch die Berührung anderer verliert, das kommt darauf an, ob die andern wenig oder viel annehmen. Hier kommt also die Lehre von der Capacität der Körper für E., die bereits in dem Artikel *Condensator* berührt worden ist, aus einem neuen Gesichtspuncte in Betrachtung, und gerade hierüber haben wir die allergenauesten, in mathematischen Formeln darstellbaren Bestimmungen vorzüglich den scharfsinnigen mikroelektrometrischen Untersuchungen des berühmten französischen Physikers Coulomb zu verdanken. Der Fundamentalsatz für alle diese Bestimmungen ist, daſs die freie, mit Spannung begabte d. h. durch repulsive Kraft nach allen Seiten wirksame E., sie sey nun positive oder negative, sich lediglich nur auf der Oberfläche der Körper verbreite und anhäufe, und nicht in das Innere der Substanz derselben eindringe, daſs also die Masse der Körper als Masse, und wenn von der verschiedenen Schnelligkeit der Verbreitung abgesehen wird, auch die Qualität derselben hierbei gar nicht in Betrachtung komme, sondern daſs sich alles nur auf die Oberfläche der Körper, jedoch nicht bloſs der *Quantität*, sondern auch der *Qualität* ihrer Ausdehnung, d. h. ihrer Gröſse sowohl als Gestalt nach beziehe, und dadurch bestimmt werde. Zum strengen Erweise dieses Hauptgesetzes durch Versuche, und zur empirischen Bestätigung der theoretischen Gründe, die auf dasselbe Resultat führen, war es vor allen Dingen nöthig, ein genaues Maſs für die E. ausfindig zu machen, das noch die kleinsten Grade von E. in bestimmten Zahlwerthen anzugeben geeignet war. Wir verdanken ein solches dem Scharfsinne Coulomb's in der el. Waage[1], wo die Drehkraft eines feinen Silberfadens, oder der Widerstand, welchen derselbe der Drehung leistet, zum Maſse für die el. Repulsivkraft dient, nachdem durch anderweitige Versuche dieses Maſs selbst durch genaue Bestimmung aller Momente, welche auf die Gröſse dieses Widerstandes ihren Einfluſs äuſsern, erst gewonnen ward[2].

Wenn die freie E. auf einer gegebenen Oberfläche, z. B. einer Kugel, an jedem Puncte derselben durch jenes Maſs ge-

---

1 S. *Waage, elektrische.* Vergl. *Drehwaage.*

2 Vergl. *Elasticität gegen Drehung.*

prüft die gleiche Repulsivkraft zeigt, so folgt daraus, daſs die E. auf dieser Oberfläche ganz gleichförmig vertheilt ist. Daſs nun COULOMB's Drehwaage durch die Drehkraft als Maſs der Repulsivkraft unmittelbar die wirkliche Menge der freien E. an jedem Elemente der Oberfläche messe, beweiset ohne Widerrede der Versuch mit zwei Leitern von ganz gleicher Beschaffenheit in Rücksicht auf Gröſse und Gestalt, z. B. zwei Cylindern, oder zwei Parallelepipedis, von denen einem zuerst E. mitgetheilt, die Stärke derselben durch die Drehwaage bestimmt, und dann der andere Leiter ganz symmetrisch an den andern in parallele Lage und in leitende Verbindung mit ihm gebracht wird, wo, wegen des ganz gleichen Verhältnisses beider Leiter in Beziehung auf einander, die E. sich unter beide nothwendig zu gleichen Hälften vertheilt, die Drehwaage dann aber auch die Hälfte der Repulsivkraft an jedem Leiter anzeigt. Es folgt hieraus eben so nothwendig, daſs wenn die freie E. nur an der Oberfläche haftet, eine Kugel von doppelter Oberfläche, bei gleicher Repulsivkraft an jedem Puncte, das doppelte Quantum von E., und so überhaupt Kugeln bei gleicher Spannung der E. Quantitäten im Verhältnisse ihrer Oberfläche besitzen werden, da für jedes gegebene Element die Menge der E. bei gleicher Repulsivkraft dieselbe seyn muſs, wie der obige Versuch beweiset. Die gleichförmige Verbreitung der E. auf Kugeln, die von allen Seiten gleichmäſsig mit Luft oder irgend einem andern ganz homogenen Nichtleiter umgeben sind, folgt schon aus dem Wesen einer Kugel, weil jeder Punct ihrer Oberfläche in Beziehung auf alle übrigen Puncte ganz dieselbe Lage hat, wie jeder andere, und also jeder ganz denselben Einflüssen der Repulsion von allen übrigen Puncten her unterworfen ist. Daſs nun die freie, mit Spannung begabte, und in dieser Spannung relativ ruhende E. wirklich nur an der Oberfläche hafte und nicht in dem Innern der Körper mit verbreitet sey, folgt schon mit Nothwendigkeit aus dem Begriffe einer nach allen Seiten thätigen Repulsivkraft, ihre Intensität mag nun nach den einfachen oder quadratischen Verhältnissen der Entfernung abnehmen, wenn zwischen den Theilchen, die durch diese Repulsivkraft sollicitirt werden, und den materiellen Theilchen des Körpers, an welchen die E. auftritt, keine weitere Beziehung, weder von Anziehung noch von Repulsion statt findet. Directe Versuche mancherlei Art beweisen aber auch den Satz unmit-

telbar. Man nehme z. B. einen leitenden Körper von sphäroidischer Form wie S, man verfertige sich zwei sehr dünne Kappen E E gleichfalls von einer leitenden Substanz, wie von Goldpapier, und gebe ihnen eine solche Krümmung, daſs, wenn sie an einander stoſsen, sie den Körper S genau einschlieſsen und umhüllen; man befestige an diese Kappen nach Auſsen zwei passende Handhaben von Schellack M, M, so daſs man sie gut anfassen kann, ohne ihnen ihre E. zu entziehen. Man isolire den Körper S durch einen gläsernen Fuſs oder hänge ihn an einem wohl mit Schellack überzogenen seidenen Faden auf, und theile ihm irgend einen Grad von E. z. B. durch Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine mit. Nunmehr applicire man mit Hülfe der isolirenden Handhaben jene oben beschriebenen Kappen gehörig an den Körper S, um ihn ganz zu umhüllen; ziehe sie sogleich wieder mit derselben Vorsicht davon ab, und prüfe sie durch ein Elektrometer. Man wird finden, daſs sie dem sphäroidischen Körper alle seine E. geraubt haben, der auf dieselbe Weise untersucht keine Spur davon zeigen wird. Man erhält dasselbe Resultat durch eine andere Art von Versuchen, die den Satz auf eine allgemeinere Art beweisen. Man bohre in einen Leiter von beliebiger Gestalt ein oder mehrere cylindrische Löcher von beliebiger Tiefe und von 4—5 Linien Durchmesser, verfertige sich einen Faden von Schellack, von einigen Zollen Länge, und befestige an das Ende desselben eine Scheibe von Goldpapier, oder ein Kügelchen von Hollundermark, von einem Durchmesser, der etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ der Weite jener Löcher beträgt. Dann isolire man den mit jenen Löchern versehenen Leiter, elektrisire ihn hinlänglich stark durch einen Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine, und führe mit aller Vorsicht, indem man den Faden von Schellack an seinem freien Ende hält, das eine Ende mit der Goldscheibe oder dem Hollundermarkkügelchen in eines jener Löcher, wobei man sich aber wohl in Acht zu nehmen hat, daſs die Ränder der oberen Oeffnung desselben nicht berührt werden. Auch wenn der Boden des Loches oder die innern Wandungen berührt worden sind, wird doch die Goldscheibe oder das Hollundermarkkügelchen keine Spur von E. zeigen, wie die Prüfung an einem hinlänglich empfindlichen Elektroskope beweiset. Hieraus ergiebt sich unwidersprechlich, daſs die freie, aber nicht in wirklicher Strömung begriffene, sondern nur

Fig. 29.

mit einem gegebenen Grade von Spannung nach Aufsen strebende E. blofs an der Oberfläche der Körper haftet. Denkt man sich nun die Ursache der el. Erscheinungen als ein sehr feines ätherisches Fluidum, eine Vorstellungsart, mit welcher alle Phänomene am besten zusammenstimmen, so mufs man sich dasselbe an den Leitern unter der Gestalt einer höchst dünnen Schicht vorstellen, deren äufsere Oberfläche mit der Luft in Berührung ist, wo sie durch den Druck und die isolirende Eigenschaft derselben zurückgehalten wird, und ganz mit der Oberfläche des Leiters selbst zusammentrifft, deren Dicke aber, wie dünn sie übrigens an sich seyn mag, sich nach der Menge der Theilchen, welche an jedem Elemente der Oberfläche des Leiters angehäuft sind, richten mufs. Dafs die Qualität der Körper bei der Vertheilung der freien E. über ihre Oberfläche nicht den geringsten Einflufs auf die Menge derselben hat, und nur insofern in Betrachtung kommen kann, als die in verschiedenen Graden isolirende Eigenschaft der Körper der Verbreitung der E. auf der Oberfläche mehr oder weniger Widerstand leistet, hat Coulomb durch einen entscheidenden Versuch bewiesen. Er theilte der kupfernen Kugel seiner Drehwaage einen bestimmten Grad von E. mit, welcher durch die Drehungswinkel der zurückgestofsenen Scheibe ven Goldpapier gemessen werden konnte, berührte die kupferne Kugel schnell mit einer andern von Hollundermark von gleichem Durchmesser, und entfernte diese sogleich, dann zeigte sich die Repulsivkraft, welche die kupferne Kugel ausübte, nur noch als die Hälfte der vorhergehenden, woraus folgt, dafs da die Repulsivkraft bei derselben Oberfläche im Verhältnisse der Quantität des el. Fluidums steht, die kupferne Kugel gerade die Hälfte desselben an die Kugel von Hollundermark abgegeben haben mufste, und folglich die verschiedene Qualität beider Körper nicht den geringsten Einflufs auf die Vertheilung geäufsert hatte. Auch andere Versuche gaben durchaus dasselbe Resultat, wenigstens für alle diejenigen Körper, welche in ihrem Leitungsvermögen wenig von einander abweichen, und also namentlich für die Metalle. Um so auffallender mufs ein Versuch Parrot's in Dorpat erscheinen, der bei ganz gleicher Oberfläche und Gestalt eine sehr verschiedene Capacität verschiedener Leiter, nach Verschiedenheit ihrer besondern Qualität beweisen würde. Man

nehme, sagt PARROT[1] zwei Metallplatten, jede mit einem isolirenden Handgriffe, beide gleich grofs und gleich geschliffen, aber die eine von Kupfer, die andere von Zink, und stelle jede auf ein besonderes isolirendes Gestell. Dann lege man an sie einen gemeinschaftlichen Leiter in Gestalt eines >, der mit seiner Spitze auf einem dritten Isolator ruhe, und berühre diese Spitze mit dem Knopfe einer sehr schwach geladenen Kleist'schen Flasche, fasse jede der Platten am isolirenden Handgriffe, und berühre damit ein Goldblattelektrometer; so wird dieses jederzeit mehr Divergenz zeigen durch die kupferne Platte als durch die von Zink, und in einer Anmerkung fügt der Verfasser hinzu, dafs sich aus 34 Versuchen als Mittelzahlen die Divergenzen am Elektrometer 59° für das Kupfer, und 14° für das Zink ergaben, woraus er die, wie er bemerkt, wichtige Folgerung zieht, dafs wenn man die Leidner Flaschen mit Kupfer belegte, sie eine weit gröfsere Menge von E. aufnehmen würden, da Zinn und Zink in obiger Hinsicht nicht weit aus einander stehen. Wiederholte PARROT den Versuch so, dafs man jede Platte unmittelbar an die Flasche und dann an das Elektrometer brachte, so war die Mittelzahl der Divergenz 20°,8 für das Kupfer, 9°,6 für das Zink. Es ist schwer abzusehen, worin die Ursache dieser sonderbaren Anomalie von allen el. Gesetzen gelegen haben mag. Bei Wiederholung dieser Versuche bei gleich grofsen und gleich dicken, wohl polirten, kreisförmigen Zink- und Kupfer-Platten von verschiedenem Durchmesser habe ich durchaus keine solche verschiedene Spannung durchs Goldblattelektrometer bemerken können, und es ist selbst, wenn man den verschiedenen Metallen eine verschiedene Capacität für die E. in dem Sinne der verschiedenen Capacität der Körper für Wärme zuschreiben wollte, doch jenes oben erwähnte, von PARROT erhaltene, Resultat unbegreiflich, da nach jener Analogie zwar unstreitig verschiedene Quantitäten von E. erforderlich seyn würden, um in verschiedenen Metallen, von übrigens gleicher Form und Gröfse dieselbe el. Spannung, die durch das Elektrometer gemessen wird, hervorzubringen, diese Spannung selbst aber, nach dem Gesetze des Gleichgewichts in ihnen, da sie aus demselben Quell schöpfen, und sich mit diesem ins Gleichgewicht setzen, dieselbe seyn müfste, gerade so, wie verschie-

1 Grundrifs der theoretischen Physik II. 517. §. 1266.

dene Körper, ohngeachtet ihrer verschiedenen Capacität für Wärme die gleiche Temperatur mit dem Medium annehmen, das für sie die Quelle der Erwärmung ist.

Wenn nun nach Uebereinstimmung aller Versuche (bis auf obige Ausnahme) die verschiedene Qualität der Körper keinen Einfluſs auf die Capacität derselben für E. äuſsert, so übt ihre verschiedene Gestalt einen um so gröſseren aus, wovon der Grund in der verschiedenen Wechselwirkung der auf der Oberfläche verbreiteten E. auf sich selbst durch die Repulsivkraft ihrer Theilchen, die von dieser Gestalt wesentlich mit abhängt, liegt. Schon Volta[1] hat eine Reihe interessanter Versuche hierüber angestellt. Er fand im Allgemeinen, daſs die Länge eines Leiters seine Capacität für E. in einem viel höheren Grade vermehrt, als die Zunahme seines Durchmessers. Von drei Cylindern, wovon der eine einen Fuſs Länge 4″ Durchmesser, der zweite zwei Fuſs Länge und 2″, und der dritte acht Fuſs Länge und ½″ Durchmesser, und demnach sämmtlich einen Quadratfuſs Oberfläche hatten, wobei die halbkugelförmigen Flächen der Enden nicht in Anschlag gebracht sind, so daſs also die Oberfläche des dicksten Cylinders noch etwas gröſser war, hatte Letzterer bei weitem die gröſste Capacität. Dies ergab sich daraus, daſs wenn alle drei so lange geladen wurden, bis sie von selbst Funken ausströmten, der dritte die erschütterndsten Funken gab, daſs ferner, um den dritten zu gleicher Spannung, wie die beiden andern zu laden, mehr Umdrehungen der Elektrisirmaschine nöthig waren, auch eine an ihn sich entladende Leidner Flasche vergleichungsweise mit den beiden andern, den längsten Funken gab. Man würde demnach mit einer weiter gehenden Verlängerung bei gleichbleibender Oberfläche die Capacität fortschreitend vermehren können, wenn nicht eine gewisse Dünne wieder Grenzen setzte, bei welcher die E. sich zu leicht zerstreuet, besonders wenn der metallische Draht, den man als Leiter gebraucht, ungleiche Stellen hat. Eine Dicke von 6 Linien ist indessen noch sehr brauchbar. Noch genauere Versuche hat indessen Coulomb durch Hülfe seiner el. Waage hierüber angestellt, die auf dasselbe Resultat führen. Es werden nämlich bei der Mittheilung der E. von einem Leiter

---

1 Dessen Schriften über E. und Galvanismus übers. von Dr. C. F. Nasse I. Band 1803. S. 1. ff.

an einen andern isolirten Leiter die Quantitäten von E., die der eine zurückbehält und der andere empfängt, durch die Bedingungen des Gleichgewichts bestimmt, welches im Augenblicke der Berührung zwischen den Repulsivkräften der el. Flüssigkeiten, die sich zwischen den beiden Oberflächen vertheilt haben, eintreten muſs. Vertheilt sich z. B. die Flüssigkeit unter Kugeln von ungleicher Oberfläche, so weichen die Quantitäten in einem geringeren Verhältnisse von einander ab, als die Oberflächen, oder die kleinere Kugel bekommt immer mehr, als nach Verhältniſs ihrer Oberfläche. Das Gleichgewicht erfordert nämlich, daſs das Verhältniſs zwischen der Quantität der kleineren und der gröſseren dasjenige, welches zwischen den Oberflächen statt findet, hinlänglich übersteige, damit sein Uebergewicht dasjenige ersetze, was die kleinere Kugel im Verhältniſs ihrer weniger ausgedehnten Oberfläche verliert. Betrug die Oberfläche der kleinern Kugel ungefähr $\frac{1}{16}$ der gröſseren, so war ihre Quantität ungefähr $\frac{1}{11}$ von dem Fluidum der Andern. Da die el. Dichtigkeiten an jedem Puncte bei Kugeln, auf welchen die E. wegen gleichförmiger Lage aller Puncte gegen einander gleichförmig vertheilt ist, die Quotienten der Quantitäten des el. Fluidums dividirt durch die Oberflächen sind, so war es Coulomb leicht, durch directe Versuche das Gesetz zu finden, nach welchem die el. Dichtigkeiten der Körper, unter welche sich die E. vertheilt hatte, variiren. Coulomb fand so, daſs für zwei Kugeln, wovon die eine dieselbe bleibt, während man die andere immer kleiner und kleiner nimmt, das Verhältniſs der el. Dichtigkeiten nach einer immer langsameren Progression wächst, welche das Verhältniſs von 2 : 1 zur Grenze hat, so daſs im Falle dieser Grenze die zweite Kugel unendlich klein angenommen werden muſs, und nur an dieser Grenze die kleinere Kugel noch einmal soviel E. aufnimmt, als sie nach dem Verhältnisse ihrer Oberfläche aufnehmen sollte.

Bei isolirten cylindrischen Leitern, welche mit Kugeln in Berührung kommen, gilt im Allgemeinen das Gesetz, daſs bei gleicher Oberfläche der cylindrische Leiter verhältniſsmäſsig um so mehr aufnimmt, je länger er ist, daſs aber auch der Ort, an welchem die beiden Leiter sich bei der Mittheilung berühren, seinen Einfluſs äuſsert, indem der cylindrische Leiter am meisten aufnehmen wird, wenn die Mittheilung an einem seiner Endpuncte geschieht, und in dem Verhältnisse weniger, in

welchem die Berührung der Mitte des Cylinders näher rückt.

Die stärkeren Grade der E. verbreiten sich an den guten Leitern von beträchtlicher Länge mit einer bewunderungswürdigen Geschwindigkeit. Man hat über diese Geschwindigkeit vorzüglich durch Hülfe der Entladung von Leidner Flaschen und Batterien Versuche angestellt, und für die bisher untersuchten Entfernungen, wovon die gröfste 12276 Schuhe war, die Fortleitung der E. instantan gefunden. Indessen entscheiden diese Versuche nach der Art, wie sie angestellt wurden, nicht sicher über diese Geschwindigkeit, da Volta gezeigt hat, dafs bei solchen Entladungen von Flaschen und Batterien durch grofse Strecken von Leitern jede Belegung sich ihrerseits entlade, und sich die Elektricitäten der beiden Belegungen nicht unmittelbar mit einander ausgleichen, folglich auch, es mag nun hier die Bewegung einer Flüssigkeit oder die blofse Fortpflanzung einer Bewegung angenommen werden, diese Flüssigkeit oder Bewegung nicht den Weg von der einen Belegung zur andern zurückzulegen hat, und folglich auch über die Geschwindigkeit derselben nichts daraus hervorgeht. Um über die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der el. Leiter ein sicheres Resultat zu erhalten, müfste man grofse Batterien oder Volta'sche Säulen von grofser Spannung und vorzüglicher Leitung im Innern mit dem einen Ende eines wohl isolirten, mehrere tausend Fufs langen Drahtes in Berührung bringen, wobei man bei der schnellen Fortleitung des mit der Mittheilung der E. zugleich hervorbrechenden Schalls durch den Draht, die nach Biot's Versuchen für eine Strecke von 12000 Par. Fufs nur 1,125 Sec. beträgt, sich vielleicht kein Unterschied in der Zeit ergeben würde, in welcher an dem andern Ende des Drahtes dieser Schall gehört wird, und das damit in Berührung stehende Elektrometer durch die Divergenz seiner Strohhalme die bis dahin vorgedrungene Leitung der E. anzeigt, sofern, wie Ritter[1] sinnreich bemerkt, das was im Innern schwingender Körper während ihrer Schwingung vorgeht, eine Reihe oscillatorisch abwechselnder entgegengesetzter el. Processe ist, und folglich die Fähigkeit zur Fortleitung jener Schwingungen und damit des Schalles oder Tones selbst unmittelbar an die Fähigkeit zur Fortleitung die-

1 Schweigg. J. II. S. 231.

ser el. Processe gebunden zu seyn scheint, in welchen aber selbst nichts als die zu ihnen gehörige E. fortgeleitet wird. Dafs jedoch die Schnelligkeit der Fortleitung von der Stärke der E. mit abhänge, und dafs schwächere Grade von E. einige Zeit gebrauchen, wenn sie lange, vollends nicht ganz vollkommene Leiter durchdringen sollen, scheint wohl keinem Zweifel unterworfen, womit dann freilich, so weit bis jetzt unsere Versuche reichen, eine Verschiedenheit zwischen der Art der Fortleitung des Schalles und der E. auch durch die vollkommenen metallischen Leiter sich ergiebt.

Es folgt aus den bisher vorgetragenen Sätzen in Betreff der Mittheilung der E. sehr natürlich, dafs man, um die E. eines Körpers eine zeitlang zu erhalten, ihn isoliren oder mit lauter Nichtleitern umgeben müsse, die wenig oder nichts von seiner E. annehmen. Dafs die Luft ein solcher ist, kommt uns sehr zu statten. Wäre sie ein Leiter, so würde man fast gar keine el. Versuche anstellen können, jeder Körper würde seine E. ihr augenblicklich mittheilen und diese sich in der Atmosphäre zerstreuen. So aber ist ein Körper in der Luft isolirt, wenn er an seidenen Schnüren hängt, auf Glas oder Pech ruht u. s. w. Indefs ist auch diese Isolation keine vollständige, sondern der elektrisirte Körper verliert sowohl durch Mittheilung an die umgebende Luft, als an die nicht absolut, sondern nur relativ isolirenden Träger, die ihn stützen, oder an denen er hängt, allmälig, wenn gleich in abnehmender Progression, seine E. gänzlich.

Da die Bestimmung der durch die umgebende Luft und die Träger statt findenden Zerstreuung der E. für den Gebrauch der el. Waage zur Beurtheilung und Festsetzung der Gesetze der E. und besonders ihrer Abnahme bei der Mittheilung an andere Körper und der Abhängigkeit ihrer Wirksamkeit von der Entfernung von der gröfsten Wichtigkeit seyn mufste, so hat auch hierüber Coulomb eine Reihe von Versuchen angestellt [1]. Die *Luft* scheint schon an und für sich zur Zerstreuung der E. beizutragen, indem die an den elektrisirten Körper unmittelbar angrenzenden Lufttheilchen ohngeachtet ihres so unvollkommenen Leitungsvermögens doch allmälig das el. Fluidum aufnehmen, wenn sie mit demselben getränkt sind, von dem elektri-

---

1 Biot Traité II. 244.

sirten Körper zurückgestoſsen werden, und neuen Theilchen Platz machen, ohngefähr auf dieselbe Weise wie die Flüssigkeiten die Wärme leiten. Noch mehr als die eigentlichen Lufttheilchen scheinen die Theilchen des *Wasserdunstes*, der sich stets in der Atmosphäre befindet, zur Zerstreuung der E. beizutragen, weswegen denn bei sehr feuchter Beschaffenheit der Luft alle el. Versuche so schlecht gelingen. Auch ziehen die Isolatoren, welche die elektrisirten Körper tragen, aus dieser feuchten Luft leichter Wasser an, und überziehen sich vermöge der Adhäsion mit einer Wasserhaut, welche, wenn sie stärker adhärirt, als sie, nachdem sie da, wo sie an den elektrisirten Körper angrenzt, von diesem E. aufgenommen hat, nunmehr von ihm zurückgestoſsen wird, zu einer Fortleitung der E. längs der Ausdehnung des isolirenden Trägers Veranlassung giebt. Aus Coulomb's Versuchen über die allmälige Zerstreuung der E. durch die Luft ergab sich das Resultat, daſs wie verschieden auch dem Grade nach die dadurch veranlaſste Zerstreuung nach Verschiedenheit des hygrometrischen Zustandes, der Temperatur und des Luftdruckes an verschiedenen Tagen war, der Verlust doch jedesmal in einen constanten Verhältnisse mit der jedesmaligen el. Spannung blieb, oder einen gleichen verhältniſsmäſsigen Theil in derselben kurzen Zeit z. B. in einer Minute ausmachte, aber freilich zu verschiedenen Zeiten, besonders nach der hygrometrischen Beschaffenheit sehr verschieden ausfiel. So verlor, durch Hülfe der Drehwaage gemessen, ein elektrisirter Körper das eine mal in jeder Minute nur $\frac{1}{60}$, an einem andern Tage aber $\frac{1}{11}$ von seiner jedesmaligen mittleren Kraft. Anders verhält sich die Zerstreuung der E. durch die isolirenden Träger. Im Anfange, so lange die Intensität der E. noch gröſser ist, ist dieselbe sehr merklich, nimmt aber bald ab, und erreicht eine Grenze, wo alle weitere Zerstreuung durch den Isolator aufhört, und dieser den elektrisirten Körper völlig isolirt, während die Zerstreuung der E. durch die Luft in einem gleichmäſsigen Verhältnisse zu der Intensität der E., wenn die Beschaffenheit der Luft dieselbe bleibt, fortdauert.

Die *Mittheilung* der E. geschieht nicht allein bei der unmittelbaren Berührung, sondern auch schon in einiger Entfernung. In diesem Falle ist sie mehrentheils sichtbar, wenigstens im Dunkeln, und geschieht entweder durch Uebergang in Gestalt eines *Funkens*, oder durch Ueberströmen in Gestalt ei-

nes *Licht*- oder *Feuer-Büschels.* Man kann behaupten, dafs in der Regel *Funken* entstehen, wenn die Enden der einander genäherten Körper *stumpf* oder *abgerundet* sind, dafs sich Ströme oder *Feuerbüschel* zeigen, wenn beide Körper oder auch nur einer sich in *Spitzen* enden, und dafs die ebene oder platte Gestalt der genäherten Flächen der Mitteilung sehr hinderlich ist.

Wenn nämlich einem elektrisirten Körper in gehöriger Entfernung ein anderer nicht elektrisirter, vorzüglich ein Leiter genähert wird, so äufsert sich zwischen beiden eine Anziehung, die desto stärker ist, je näher sie einander kommen (ist der eine Körper leicht und beweglich genug, so reifst ihn diese Anziehung bis zur andern fort). Wird endlich die Anziehung sehr stark durch gehörige Annäherung, und sind die Körper abgerundet, so entrteht zwischen beiden der el. *Funken*, durch welchen so viele E. übergeht oder mitgetheilt wird, als zur Herstellung des Gleichgewichts zwischen beiden Körpern nöthig ist [1]. Die Weite, in welcher dieses geschieht, heifst die Schlagweite. Nachher findet man die E. ebenso unter beiden Körpern vertheilt, als wenn sie sich berührt hätten. Sind beide Körper Leiter, und ist der, welcher den Funken empfing, mit der Erde verbunden, so wird durch denselben die E. gröfstentheils hinweggenommen, jedoch nie so vollständig, wie wenn jener mit der Erde verbundene Leiter in unmittelbare Berührung damit gekommen wäre, da der Uebergang der E. von dem elektrisirten Leiter zu dem andern nur successiv, wenn auch gleich für die Beobachtung instantan, ist, und daher bei der Abnahme der E. in diesem Uebergange ein Punct eintritt, wo für die mit viel geringerer Spannung begabte E. die Schlagweite zu grofs geworden ist, und dieser immer nur sehr schwache Rückstand nicht weiter übergehen kann. Ist der elektrisirte Körper ein Nichtleiter, so ist der Funken schwach; er theilt nämlich nur die E. derjenigen Stelle mit, welcher der andere Körper am nächsten ist.

Bei Versuchen, wo man starke Funken oder überhaupt starke Uebergänge der E. zur Absicht hat, werden aus diesem Grunde die Funken nie aus dem geriebenen Nichtleiter selbst gezogen. Man verbindet vielmehr mit dem geriebenen Körper

---

1 S. *Funken, elektrischer.*

einen isolirten metallischen Leiter, welchem jener seine E. mittheilen muſs, und aus dem man die Funken zieht. Dieses ist der sogenannte *Hauptleiter, erste Leiter, Conductor*, dessen Einrichtung bei dem Worte *Elektrisirmaschine* beschrieben wird. Endigt sich der Leiter, der dem elektrisirten Körper entgegengestellt wird, in eine Spitze, so entsteht nicht so leicht ein Funke, und überhaupt nur bei sehr groſser Intensität der E. des elektrisirten Körpers und auf sehr kurze Entfernungen [1]. Aber die Mittheilung oder el. Ausgleichung erstreckt sich nun auf eine viel gröſsere Weite, und erfolgt durch ein anhaltendes, oft mit einem Geräusch begleitetes Ueberströmen, wobei sich im Dunkeln die schon mehrmals erwähnten Feuerbüschel zeigen [2].

Ebene Flächen theilen sich, wenn sie einander genähert werden, die E. nicht leicht mit, und können einander in paralleler Richtung sehr nahe gebracht werden, ehe der Uebergang durch einen Funken erfolgt, der nur dann aus einer groſsen Entfernung hervorbricht, wenn etwa auf der einen oder andern Fläche eine Erhabenheit hervorragt, und dann immer an dieser Stelle. Auf einen geriebenen ebenen Harzkuchen kann man eine glatte Metallfläche ganz auflegen und eine Zeitlang ruhen lassen, ohne daſs sie dem Kuchen das Geringste von seiner E. entzöge [3]. Wenn den Nicht-Leitern E. mitgetheilt wird, so breitet sich dieselbe nicht über ihre ganze Fläche aus, sondern bleibt auf die Stelle, die sie getroffen hat, eingeschränkt. Um die Mittheilung zu befördern und über die ganze Oberfläche zu verbreiten, pflegt man die Fläche der Nicht-Leiter mit einer leitenden Materie z. B. Zinnfolie, Goldblättchen u. d. g. zu belegen [4].

Ueber die Wirkung der mitgetheilten E. auf organische Körper, Thiere und Pflanzen, hat man sehr viele Versuche angestellt, deren Erfolge indeſs nicht ganz übereinstimmend ausgefallen sind. Was insbesondere die Wirkung der an isolirte Menschen mitgetheilten E. betrifft, so hatten mehrere Physi-

---

1 S. *Elektrisirmaschine.*

2 Vergl. *Spitzen.*

3 S. *Elektrophor*

4 S. *Flasche, elektrische.*

ker, unter andern GERHARD [1] und CAVALLO [2] das Resultat aufgestellt, dafs eine stärkere E. auf diese Weise mitgetheilt den Puls schneller gehen mache, die Ausdünstung befördere und die Absonderung der Drüsen vermehre. Indefs ist dieses Resultat durch eine erste schon im Jahre 1785 mit aller Sorgfalt an 13 nach Alter und Geschlecht verschiedenen Personen, gröfstentheils Aerzten und geübten Beobachtern mit der grofsen Teyler'schen Maschine zu Haarlem angestellte Reihe von Versuchen, wovon VAN MARUM [3] Rechenschaft gegeben, sehr zweifelhaft gemacht worden. Die Veränderungen des Pulses, welche bei der Elektrisirung der wohl isolirten Personen durch jene so kräftige Maschine eintreten, blieben im Ganzen innerhalb der Grenzen, in welchen sie auch natürlicher Weise ohne alle Elektrisirung bei den meisten dieser Personen statt fanden, da der Puls bei den meisten innerhalb einer Minute bald um einige Schläge sich beschleunigte, bald verlangsamte. Bemerkenswerth ist es jedoch, dafs in den Versuchen, in welchen auch negativ elektrisirt wurde, sich bei allen eine *Verlangsamung des Pulses* zeigte, welche in einem Falle bis 10 Pulsschläge in der Minute betrug, während die positive E. sich so gut wie ohne Wirkung zeigte. Am auffallendsten war dieses Resultat bei einem 10jährigen Mädchen, wie folgende Zahlen beweisen:

Minute.	Pulsschläge vor den Versuchen.	Am positiven Leiter.	Am negativen Leiter.
1	92	92	89.
2	97	97	86.
3	100	100	91.
4	101	97	92.
5	100	101	93.

Spätere Versuche von VAN MARUM an 11 andern Personen [4] gaben dasselbe Resultat der Nichtbeschleunigung des Pulses durch

---

1 In den nouveaux mémoires de l'acad. Roy. de Berlin de l'année 1772. p. 145.

2 Essay on the theory and practice of medical electricity. London 1780. p. 13.

3 S. Beschryving eener ongemeen groote Electrizeermachine etc. door Martinus van Marum Haarlem 1785. 4. Deutsch Leipzig 1786. 4. Abthl. II. Kap. I. S. 46.

4 2te Forts. der Beschryving etc. S. 50 und G. I. 88.

die bloſse Anhäufung der E. in dem Körper, ohne daſs sich jedoch in diesen neuen Versuchen ein solcher deprimirender Einfluſs der negativen E. bestätigt hätte, so daſs vielleicht eine besondere Idiosynkrasie einzelner Personen mit in Anschlag gebracht werden muſs, die hierbei überhaupt sehr in Betracht kommt, indem die Empfindlichkeit verschiedener Personen für die E. sehr verschieden ist, wie dann sogar Fälle von Personen vorgekommen sind, die ganz unempfindlich für E. waren, wie z. B. jenes Frauenzimmer, das die stärksten el. Schläge auf andere überleiten konnte, ohne selbst die geringste Empfindung davon zu haben [1], was auch bei andern Personen in Beziehung auf die Schläge des Zitterals beobachtet worden ist [2]. Grimm führt einen Fall eines Menschen an, dem jedesmal, so oft er das Isolatorium betrat, und durch Verbindung mit dem ersten Leiter elektrisirt wurde, das Blut aus der Nase floſs [3] und Suntelin [4] erzählt von einem Bekannten, daſs er sich nich lange in der Nähe einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine habe aufhalten dürfen, ohne mit Leibweh und Durchfall gestraft zu werden. Man hat neulich wieder das negative Resultat van Marum's in Beziehung auf die Beschleunigung des Pulsschlages in Anspruch nehmen wollen, und namentlich behauptete Dr. Böckh [5] in 360 Versuchen gefunden zu haben, daſs sowohl die positive als negative E. den Puls meistens beschleuniget, und nur selten denselben verlangsamet habe. Wenn man indeſs die obige Bemerkung van Marum's über die natürlichen Variationen des Pulses und den Einfluſs mitwirkender Umstände berücksichtiget, so wird man auf jene Behauptung des Dr. Böckh um so weniger Gewicht legen, da die Versuche anderer so vollkommen mit denen van Marum's zusammenstimmen, namentlich Suntelin's [6], der ausdrücklich bemerkt, er glaube sich durch genaue Versuche überzeugt zu haben, daſs die bloſse Anfüllung mit E., das sogenannte *el. Bad*, weder den Puls zu beschleuni-

1 Gilb. Ann. XIV. 424.

2 ebendas. S. 420.

3 Gilb. Ann. VII. S. 355.

4 Anweisung zur medicinischen Anwendung der E. u. s. w. Berlin 1822 S. 17.

5 Beiträge zur Anwendung der E. auf den menschlichen Körper Erlangen 1791.

6 a. a. O. S. 44.

gen, noch ihn voller zu machen vermöge, und dafs, wo Ausnahmen durch eine besondere Idiosynkrasie statt finden, die Pulsschläge zwar schneller aber nicht voller und stärker, sondern vielmehr kleiner und schwächer wurden, in Folge der ängstlichen Empfindung, welche bei solchen Menschen durch den el. Einflufs geweckt wird.

Bei Gelegenheit obiger Versuche stellte van Marum auch Versuche über den Einflufs der E. auf die unmerkliche Ausdünstung an, indem er den Gewichtsverlust von verschiedenen Kindern von 6—8 Jahren durch die unmerkliche Ausdünstung während einer halben Stunde, wenn sie nicht, und wenn sie elektrisirt waren, bestimmte, wo sich indessen keine Vermehrung derselben ergab. Grimm hat indefs gegen diese letzteren Versuche einige erhebliche Einwendungen gemacht [1] und behauptet, sowohl an sich als an mehreren Kranken, die er elektrisirte, die Ausdünstung bis zum Hervorbrechen des Schweifses beobachtet zu haben. Auch Suntelin [2] fand die Ausdünstung in seinen mit verschiedenen Personen angestellten Versuchen durch das el. Bad etwas vermehrt, indem ein Spiegel dem Arme derselben in einer gewissen Entfernung gegenüber gehalten getrübt wurde, der unter denselben Umständen, nur dafs die Elektrisirung unterlassen worden, klar geblieben war, leitet aber diese Wirkung von einem bloſsen Fortreifsen der Feuchtigkeit der Haut durch die zurückstofsende Kraft der E. ab, so wie die Feuchtigkeit einer Spitze durch den von ihr ausströmenden el. Feuer-Pinsel mit fortgerissen werde. Es ist schwer auszumitteln, welchen Einflufs auf den Erfolg von Versuchen, wie sie van Marum anstellte, Gemüthsaffecte haben können, insbesondere bei Kindern die Furcht, die in einem entgegengesetzten Sinne wie die E. auf die Ausdünstung wirken, und damit die von letzterer abhängige Vermehrung wieder aufheben könnte. Soviel kann indefs als ausgemacht angesehen werden, dafs die Vermehrung der Ausdünstung auf keine active Weise durch die Beschleunigung des Kreislaufes des Blutes zu Stande kommt, da diese nach so vielen negativen Versuchen als nicht vorhanden angenommen werden mufs. Die Wirkungen der E. auf das aus der Ader gelassene Blut, worüber Schübler Versu-

1 G. VII. 355.
2 a. a. O. S. 49.

che angestellt hat, gehören mehr in die Physiologie als hierher [1]. Uebrigens wird unter dem Artikel: *Elektricität, medicinische* von den Wirkungen der E. auf den kranken menschlichen Organismus noch besonders gehandelt werden. Auch auf die *Pflanze* und ihr Wachsthum hatte man nach früheren Versuchen der an diese im isolirten Zustande mitgetheilten E. einen besondern Einfluſs zugeschrieben. MACULRAY in Edinburgh war der erste, der ein Befördern des Keimens der Pflanzen durch Elektrisiren beobachtet haben wollte, ein Resultat, welches NOLLET durch seine Versuche [2] bestätigte. Indeſs ist dasselbe von Dr. INGENHOUSS [3] durch sehr genaue Versuche völlig ungegründet befunden. Dieser schafsinnige Beobachter schreibt die vorgegangene Täuschung dem Umstande zu, daſs das Licht auf das Wachsthum junger Pflanzen einem sehr nachtheiligen Einfluſs hat. Nun, sagt er, legte man bei solchen Versuchen die Samenkörner auf den Boden elektrisirter Gefäſse, welche nahe bei der Elektrisirmaschine im Dunkeln standen. Wenn sie dann ungleich besser fortkamen und keimten, als die im Lichte oder an der Sonne stehenden unelektrisirten, so schrieb man dieses bessere Gedeihen ganz ehrlich auf Rechnung der E. Die Ingenhouss'schen Versuche, die mit möglichster Sorgfalt angestellt sind, lehren überzeugend, daſs zwischen dem Wachsthum elektrisirter und unelektrisirter Pflanzen nicht der mindeste Unterschied statt findet, wenn man nur Sorge trägt, beide in einerlei Lage gegen das Licht des Tages und der Sonne zu erhalten. Eben dieses bestätigen auch die von INGENHOUSS und SCHWANKHARD gemeinschaftlich angestellten Versuche mit Senfkörnern und Kresse [4], wobei noch bemerkt wird, daſs Zwiebelgewächse, z. B. Hyacinthen, Jonquillen u. d. g. wegen der in verschiedenen Subjecten äuſserst verschiedenen Vegetationskraft bei dergleichen Versuchen niemals sichere Resultate geben. Durch neuere Versuche will indessen MÜLLER [5] allerdings einen wohlthätigen

1 Schw. Journ. II. 292.

2 Recherches sur les causes des phénomènes électriques Paris 1749. 4.

3 Versuche mit Pflanzen 3ter Band Wien 1790. 8. 7te und 8te Abtheilung S. 65. 83.

4 Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. V. 1 St. S. 161 ff.

5 Zusätze zu Singers Elementen der E. S. 384.

Einfluſs der E. auf das Keimen beobachtet haben, den er jedoch nur dann am sichersten erhielt, wenn er die Pflanzen bloſs in der el. Atmosphäre des positiven oder negativen Conductors isolirt stellte. Derselbe will auch bei Elektrisirung von verschiedenen Aufgüssen beobachtet haben, daſs sich die Infusionsthierchen viel schneller entwickelten und zu einer vollkommenern Art übergingen, doch bemerkt er selbst, daſs sowohl dieser Erfolg als derjenige der Beförderung des Keimens und Wachsthums der Pflanzen nie mit Gewiſsheit voraus bestimmt werden konnte. Es bleibt also bis weiter dieser Einfluſs wenigstens problematisch.

Bertholon de St. Lazare erzählt in Beziehung auf die Pflanzen [1] einige Versuche, welche Le Drü im Jahre 1776 mit der Mimosa (M. sensitiva L.) angestellt haben will. Diese Pflanze, welche sonst ihre Blätter bei jeder Berührung schlieſst, soll diesem Versuche zufolge sie nicht zusammenziehen, wenn die Berührung mit glatten Stäbchen von Glas, Siegellack, Bernstein oder jeder andern nicht leitenden Materie geschieht. Indeſs wurden diese Versuche von Ingenhouss falsch befunden. Die sorgfältigste Erfahrung bewies ihm, daſs dergleichen Stäbchen nicht mehr und nicht weniger thun, als andere von polirtem Metall, und daſs alles nur darauf ankomme, ob die Berührung erschütternd oder nur vorübergehend ist. Wenn man die Blätter an einen elektrisirten Leiter brachte, so senkten sie sich eben so, als wenn man darauf blieſs, und wenn man die Pflanze mit zusammengefallenen Blättern auf einem Isolirgestelle elektrisirte so erhoben sich dieselben um nichts schneller, als wenn sie unelektrisirt stehen blieben. Auf die Bewegungen der Blätter des *Hedysarum gyrans* (Moving Plant der Engländer) hat man die Wirkung der E. vielmehr nachtheilig gefunden [2]. Verbindung mit elektrisirten Leitern, und Berührung damit, hatte auf diese Blätter gar keine Wirkung, auſser daſs sie, wie andere leichte Körper, angezogen und abgestoſsen wurden. Ward aber das Blatt mit einer geriebenen Siegellackstange berührt, so sank es allmälig nieder, und erhob

1 In seinem Buche über die E. aus dem Französischen. Leipzig 1785. 8. S. 177.

2 S. Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. V. Bd. 3 St. S. 13.

sich erst nach einigen Stunden. Funken, wenn sie länger fortgesetzt wurden, trieben das aufgerichtete Blatt noch schneller nieder, so daſs es sich den ganzen Tag nicht wieder erhob. Ward das Elektrisiren mit Funken und Erschütterungen einige Tage lang, obwohl nur Minutenweise fortgesetzt, so verlor das Blatt seine ganze Beweglichkeit und blieb auf immer hängend an den Stiel geschlossen. In diesem Zustande blieb es noch vierzehn Tage bei völlig frischem Ansehen; dann aber ward es gelb, welk und fiel ab. Das Sonderbarste war, daſs dadurch auch alle andern Blätter auf dieser Seite hängend wurden, und sich nicht mehr so lebhaft, wie zuvor, bewegten.

Auf die kleinen Seitenblättchen dieser Pflanze, welche eine eigene, fast willkürlich scheinende Bewegung zeigen, wirkten Funken, Erschütterungen und Berührung mit elektrisirten Körpern gar nicht. Dagegen brachte die Verbindung der ganzen Pflanze mit einem elektrisirten Leiter, welche auf die groſsen Blätter ganz unwirksam war, ein weit lebhafteres und schnelleres Balanciren der Seitenblättchen hervor, welches noch geraume Zeit nach dem Elektrisiren fortdauerte.

Auch van Marum [1] konnte in seinen Versuchen keine eigenthümliche Einwirkung der E. auf die sogenannten reizbaren Pflanzen und ihre so merkwürdigen Bewegungen beobachten. Die Nähe der Conductoren, diese mochten positiv oder negativ geladen seyn, wirkte so wenig, wie ein el. Bad. Gab indeſs der Conductor während letzterem Funken an benachbarte Körper, so schlossen sich die Blätter der Mimosa, und knickten nieder, was aber van Marum nicht sowohl aus der Wirkung der E. als solcher, als vielmehr daraus erklärt, daſs diese empfindlichen Blätter sehr viel bei den abwechselnden Bewegungen leiden, welche der el. Stoſs hervorbringt, da die Blätter auch dann sanken, wenn man ihnen auf eine andere Art abwechselnde Bewegungen mittheilte. Van Marum konnte auch weder bei der positiven noch negativen Elektrisirung so wenig des isolirten als nicht isolirten Hedysarum gyrans die geringste Veränderung in der Bewegung der kleinen Blättchen desselben wahrnehmen [2]. Indeſs hat J. W. Ritter später eine Reihe von el. Versuchen an der Mimosa pudica L. in Parallele mit

1 G. I. 114.
2 G. I. 116

gleichen Versuchen an Fröschen [1] angestellt, nach welchen er es für unzweifelhaft hält, daſs die E. als ein ganz eigenthümlicher Reiz, und nicht bloſs durch die mit gewissen Wirkungsformen derselben verbundene mechanische Erschütterung auf die Reizbarkeit der Mimosa wirke, daſs in dieser Einwirkung sogar ein polares Verhältniſs der beiden Elektricitäten statt finde, indem die positive E. am stärksten auf Zusammenziehen der Blätter und Sinken der Zweige wirke, wenn sie von Innen nach Auſsen, vom Stamme nach den Enden der Blattabtheilungen ihre Bewegungsrichtung hat, die negative E. am stärksten bei umgekehrter Richtung, worin sich die Mimosen gerade auf die entgegengesetzte Weise wie die Thiere verhalten sollen, wo bei hoher Erregbarkeit vielmehr die negative E., wenn sie von Innen nach Auſsen, vom Nervenstamme nach seinen Endigungen in den Muskeln gerichtet ist (oder bei der Annahme nur *einer* el. Materie der el. Strom die Nerven aufwärts nach ihrem centralen Ende hin sich bewegt) den stärkeren Reiz ausübe. Uebrigens bediente sich Ritter bei diesen Versuchen sowohl der Entladungsschläge schwach geladener Leidner Flaschen, als auch des ununterbrochenen el. Stromes, der von dem ersten Leiter durch die Mimosa hindurch nach dem Reibzeuge ging, und der in der Mimosa noch Zusammenziehungen hervorbrachte, während er auf ein höchst empfindliches Froschpraeparat ohne Wirkung war.

Wasser, das aus isolirten Gefäſsen durch enge Röhren ausläuft, wird durch Mittheilung der E. schneller herausgetrieben. Sind es Haarröhrchen, durch welche das Wasser im natürlichen Zustande nur tröpfelt, so wird durch die E. ein ununterbrochener Strom hervorgebracht, der sich noch in viele andere Strahlen zertheilt, die E. treibt sogar das Wasser aus den engsten Haarröhrchen, durch welche es vorher nicht einmal durchzutröpfeln im Stande war [3]. Ueber dieses Auslaufen des Wassers aus engen Röhren hat Dr. Carmoy [2] genaue Versuche angestellt. Es blieb nämlich ungeachtet der Verwandlung des Auströpfelns

1 Schweigg. J. d. Ch. I. 409.

2 Nollet Recherches. S. 327.

3 Journ. de Phys. Nov. 1788. übers. im Gothaischen Magazin u. s. w. VII. Bd. 1. St. S. 63. ff.

durch Mittheilung der E. in ein ununterbrochenes Ausfließen in einem Strome immer noch die Frage, ob durch dieses Strömen in gleicher Zeit mehr Wasser aus dem Gefäße getrieben werde als durch das Tröpfeln. Carmoy fand, daß in einem Zeitraum von 75 Stunden 10 Minuten unter übrigens gleichen Umständen

ohne E. 2 Pfund 12 Unzen 2 Qt. 65 Gr.
mit E. 2 — 11 — 5 — 36½ —

Wasser aus einem Gefäße gelaufen waren. Dieses war wenigstens das Resultat der meisten Versuche, nach welchen es nicht scheint, daß durch die E. die Geschwindigkeit des Wassers in Haarröhren in der That vermehrt, und also vielmehr nur die Tropfenbildung wegen der zurückstoßenden Kraft, welche die elektrisirten kleinsten Wassertheilchen gegen einander ausüben, verhindert werden. Andere Versuche mit Auslaufröhren von verschiedener Länge, Gestalt und Durchmesser, gaben zwar andere Resultate, wobei auch manchmal die mit E. ausgelaufene Wassermenge etwas größer war, es schien aber bloß von zufälliger Beschaffenheit der Gefäße abzuhängen.

Ob die Verdunstung des Wassers durch die Mittheilung der E. befördert werde, darüber fehlt es bis jetzt gänzlich an genauen Versuchen. In früheren Zeiten hielt man die Kraft der E., die Verdunstung zu befördern, selbst für so wirksam, daß mit Hülfe derselben Substanzen sogar durch die Zwischenräume des Glases verdunsten sollten. Pivati in Venedig elektrisirte Glasröhren, in die er Arzneien einschloß, und glaubte Kranke dadurch geheilt zu haben, auch Winkler in Leipzig meinte zu finden, daß Schwefel-Zimmet, peruvianischer Balsam u. d. g. durch elektrisirte Glaskugeln verdunsteten, es ward aber dies alles durch Nollet's, Watson's und Bianchini's Versuche gänzlich widerlegt.

Cavallo führt[1] Versuche an, nach welchen er zwei gleich großen zinnernen Tellern, auf deren jeden gerade soviel Wasser gegossen wurde, als nöthig war, um den Boden zu bedecken, das eine, welches auf einem isolirten Stative sich befand, und mit dem Conductor der Elektrisir-Maschine in Verbindung gesetzt wurde, innerhalb einer halben Stunde, während welcher es fortdauernd in bedeutendem Grade elektrisirt wurde, durch

1 Versuche über Theorie und Anwendung der medicinischen E. S. 65. 2. Ausg. der Uebers.

Verdunstung mehr verloren hatte, als das andere, das sich mit denselben unter sonst gleichen Umständen befand. Dieselbe Wirkung erhielt CAVALLO, gleichviel ob er die positive oder negative E. anwendete. Diese Versuche sind indeſs selbst in Rücksicht auf ihre Resultate mit so wenig Genauigkeit beschrieben, daſs sie eben darum kein groſses Vertrauen einflöſsen. Dies gilt noch weit mehr von den Behauptungen HERMBSTÄDT's [1], nach welchen die Erfahrung bewiesen haben soll, daſs die E. in Verbindung mit der Wärme eine stärhere Verdunstung veranlasse, als die Wärme für sich allein, ja daſs selbst bei verminderter Temperatur das gebildete expansible Fluidum seine Form unverändert behalte. Letztere Behauptung allein muſs schon hinreichen, das gröſste Miſstrauen einzuflöſsen, da überdies von den Versuchen selbst gar nicht die Rede ist.

Bei dieser Lage der Sachen entschloſs ich mich, sie mit aller Sorgfalt zu wiederholen. Ich elektrisirte daher isolirte Gefäſse von verschiedener Gestalt und Materie mehrere Stunden lang bald positiv, bald negativ, konnte aber nicht den geringsten Unterschied in der Menge des verdunsten Wassers zwischen ihnen und den Gefäſsen, die sich mit ihnen ganz gleich verhielten und unter sonst gleichen Umständen, nur daſs sie nicht elektrisirt wurden, befanden, beobachteten. Um die E. dem Wasser gleichsam mehr einzuverleiben, brachte ich bei gläsernen Gefäſsen Stanniol auf den Boden derselben, und machte mit diesem die leitende Verbindung. Ich bediente mich dabei meiner höchst kräftigen Elektrisirmaschine, welcher die von CAVALLO gebrauchte weit nachsteht. Ohngeachtet also hier vorausgesetzt werden kann, daſs die E. allmälig aus dem Wasser in die Luft überströmte, nahm sie doch kein Wasser in Dunstgestalt mit sich fort, zum Beweise, daſs die E. an und für sich nicht das Princip der Aenderung des Aggregatzustandes der Körper ist.

Wenn man einem durch die Luft-Pumpe gemachten sogenannten luftleeren Raume (Bolye's Leere) E. mittheilt, so durchdringt sie ihn fast ebenso frei, als den besten Leiter, und zeigt dabei ein sehr ausgebreitetes starkes Licht. Ein el. Feuerbüschel, der in einen solchen Raume strömt, breitet sich aus, und erfüllt alles mit strahlenförmigem Lichte. Eine luftleere Glasröhre zeigt gerieben oder an einem elektrisirten Leiter ge-

1 Gehlen n. allg. J. d. Ch. II. Bd. 339.

halten ein starkes, dem Wetterleuchten ähnliches Licht. Wenn man eine Reihe solcher Glasröhren, die durch die Dämpfe des kochenden Quecksilbers erst so vollkommen luftleer wie möglich gemacht worden sind, und die man dann an der Schmelzlampe von dem Theile, in welchem sich das Quecksilber befindet, abgetrennt hat, von einer Länge von einem oder anderthalb Schuhen theils gerade, theils schlangenförmig gekrümmt in paralleler Richtung neben einander durch kleine Kettchen, die durch messingene Fassungen mit ihnen zusammenhängen an einem isolirten Metalldrahte aufhängt, und an ihrem untern Ende durch ähnliche Kettchen mit einem gleichen Metalldrahte verbindet, von welchem man eine Ableitung nach der Erde führt, und den obern Metalldraht mit dem ersten Leiter einer hinlänglich wirksamen Elektrisirmaschine in Verbindung setzt, so findet durch alle Glasröhren ein beständiges zuckendes, ins blaue oder violette sich ziehendes helles Leuchten statt, das mit den Radiationen des Nordscheins einige Aehnlichkeit hat. Mehrere solche luftleere Glasröhren die sich in einem Mittelpuncte durchkreuzen, bilden einen schönen grofsen Stern oder eine Sonne, deren Strahlen, oder die einzelnen Glasröhren beim Durchleiten der E. bisweilen mit verschiedenfarbigem Lichte, die eine mit grünem, eine andere mit mehr purpurfarbigem Lichte erfüllt sind, wovon der Grund weiter unten erhellen wird. Dieses Leuchten findet auch statt, wenn die E. dem innern Raume der Glasröhre gar nicht mitgetheilt werden kann, weil kein Zuleiter zu demselben führt, und hängt in diesem Falle von der durch Vertheilung erregten E. ab. Haswkbee hat das Leuchten des Barometers [1] schon ganz richtig für eine el. Erscheinung erklärt. Beim Schütteln nämlich reibt das Queksilber die innern Fläche des Glases, und erregt dadurch E., die sich mit ziemlich lebhaftem Lichte in dem relativ leeren Raume ausbreitet. Man hat durch Quecksilberdampf luftleer gemachte Glasröhren, welche ein wenig Quecksilber enthalten. Sie leuchten im Dunkeln, wenn man das Quecksilber hin und her laufen läfst, und dieses Licht ist selbst noch intensiver, als wenn man von Aufsen mitgetheilte E. durch solche Röhren strömen läfst. Hawksbee und nachher Johann

---

1 Vergl. über diesen Gegenstand Th. I. S. 940. dieses Wörterbuches.

Bernoulli [1] haben ihnen den Namen des Quecksilberphosphors gegeben. Eben dies geschieht nun im Barometer. Ludolf in Berlin zeigte, dafs die Barometerröhre während des Leuchtens Papierchen anzog, wenn der äufsere Raum verdünnte Luft enthielt. Musschenbroek [2] glaubte dagegen aus seinen Versuchen den Schlufs ziehen zu können, dafs das Leuchten im völlig luftleeren Raume nicht statt finde. Wenn man ein recht gutes Barometer zweimal auskocht, so leuchtet es gewöhnlich nach dem zweiten Auskochen stärker, weil das Quecksilber und Glas dadurch in einen vollkommener trockenen Zustand durch die Verjagung auch der letzten Spur des anhängenden Wasserhäutchens versetzt werden, wodurch erst die unmittelbare Berührung und Reibung zwischen beiden, und damit die Elektricitätserregung eintritt, was in einzelnen Fällen auch durch ein länger fortgesetztes erstes Kochen erreicht werden könnte. Kocht man es aber zum drittenmal, so wird das Leuchten schwächer, oder hört ganz auf, weil die Luft nun ganz weggenommen ist. Damit stimmen auch im wesentlichen die späteren Erfahrungen J. A. de Lüc's [3] überein, der jedoch bemerkt, dafs auch die Beschaffenheit des Glases darauf Einflufs habe, da eine Röhre, deren innere Wandungen mehr rauh sind, auch unter den günstigsten Umständen dieses Leuchten nicht zeigt. Walsh und Morgan [4] stellten noch anderweitige Versuche an, durch welche besonders Letzterer es aufser allem Zweifel gesetzt zu haben glaubte, dafs in der Torricellischen Leere das el. Licht vollkommen verschwinde. Dessaignes wollte sogar bei einer so weit getriebenen Verdünnung unter der Glocke einer Luftpumpe, dafs die an dem Drahte, durch welchen der el. Strom in die Boyle'sche Leere geleitet wurde, hängenden Korkkügelchen gar nicht mehr divergirten, alles el. Licht verschwinden gesehen haben. Indefs wurde die Nichtigkeit dieser Resultate durch neue Versuche von Candi [5] in Anspruch genommen, weil aber diese Versuche manche Gegeneinwen-

---

1 De Mercurio lucente in Vacuo. Opp. Tom. II. p. 112.

2 Essai de Physique. Leiden 1751. 4. p. 640.

3 Untersuchungen über die Atmosphäre I. 301.

4 Philos. Trans. 1785. p. 272.

5 Mémoires de l'acad. royale des Sciences à Turin. Tome V. übers. in Gren's. Journ. IV. 93.

dungen zuließsen und die Sache nicht vollkommen zur Entscheidung brachten, so war es von grofsem Interesse, dafs ein so scharfsichtiger, sinnreicher und geübter Experimentator wie H. Davy eine neue Reihe von Versuchen über das Verhalten der E. in einem möglichst leeren Raume, so weit sich ein solcher auf Erden darstellen läfst, anstellte [1]. Versuche, die auch in anderer Hinsicht wichtig sind, da ihre Resultate auf die Ansicht der Natur der E. und die Erklärung der mit ihrer Bewegung verbundenen Lufterscheinungen von Einflufs sind. Davy bemerkt richtig, dafs die Torricelli'sche Leere, wenn sie auch, gehörig veranstaltet, als eine vollkommene Luftleere angenommen werden könne, doch keinen absolut leeren Raum darstelle, da den neuern Untersuchungen über die Verdunstung zufolge eine wenn gleich in gewöhnlicher Temperatur höchst dünner Quecksilberdampf darin existire, und es kam also vorzüglich darauf an, diesen soviel möglich aus dem Spiele zu bringen, um beurtheilen zu können, welchen Antheil er in dem gewöhnlichen Falle an den Phänomenen habe. Davy bediente sich zu seinen Versuchen einiger gebogener zweischenklicher Glasröhren mit einem längeren bis 20 Zoll langen Schenkel. Der längere Schenkel war an seinem Ende zugeschmelzt, und entweder mit einem eingeschmelzten Platindrahte versehen, bestimmt, die E. hinein oder heraus zu lassen (der Sprache Davys, der hierin die Franklin'sche Ansicht befolgt, gemäfs) oder statt desselben mit einer kleinen cylindrischen Kappe aus Zinn – oder Platin – Folie, deren er sich bediente, als er die Ladungsfähigkeit des leeren Raumes erproben wollte. An dem kürzeren offenen Schenkel befand sich eine messingene Fassung, in welche sich ein Hahnstück einschrauben liefs, das durch ein bewegliches Rohr mit einer vortrefflichen Luftpumpe in Verbindung gesetzt werden konnte. Um nun einen leeren Raum zu bewirken, wurde erst der längere Schenkel mit Quecksilber oder geschmolzenem Zinn gefüllt, und dann durch Verbindung mit der Luftpumpe der leere Raum erzeugt, indem im Verhältnisse der Verdünnung das Quecksilber oder das geschmolzene Metall in dem längeren Schenkel herabsinken mufste, wodurch man es in seiner Macht hatte, den leeren Raum in einer gröfse-

1 Aus dem I Part. der Philos. Trans. für 1822 frei übersetzt von Gilb. Ann. 1822. III. 357.

ren oder kleineren Ausdehnung zu bilden, indem man die Luft oder das Gas (in einigen Versuchen war das Rohr und der Apparat vor dem Auspumpen mit Wasserstoffgas gefüllt worden) in dem kürzeren Schenkel so weit zu verdünnen im Stande war, daſs es einer Säule des flüssigen Metalls von jeder beliebigen Länge von 20″ bis $\frac{1}{10}$″ durch seine Elasticität das Gleichgewicht hielt. Das Quecksilber wurde immer erst kurz vor dem Versuche gereinigt, und in der Röhre 6 oder 7 mal von der Spitze nach der Grundfläche und von da nach der Spitze hin ausgekocht. Die so bereitete, wenigstens von Luft gänzlich befreite Torricelli'sche Röhre fand nun Davy für die E. durchgänglich, sie wurde sowohl durch den gewöhnlichen el. Funken als durch die Entladung einer Leidner Flasche leuchtend, und das belegte Glas, das die Leere umgab, nahm dabei eine Ladung an. Der Grad der Stärke dieser Erscheinung hing aber von der Temperatur ab. War die Röhre sehr heiſs, so zeigte sich das el. Licht in dem (Quecksilber-) Dampfe mit lebhafter und sehr intensiver grüner Farbe, in dem Grade aber, als die Temperatur abnahm, verlor die Farbe an Lebhaftigkeit, und in einer künstlichen Kälte von — 20° F. (nahe — 23° R.) war das Licht so schwach, daſs es sehr dunkel seyn muſste, wenn man es wahrnehmen sollte. Auch fand sich die dem Stanniol- oder Platinbleche mitgetheilte E. um so stärker, je höher die Temperatur war, und in 0° F. (— 14$\frac{2}{9}$° R.) Kälte nur äuſserst schwach. Beide Arten von Erscheinungen haben, wie Davy bemerkt, ihren Grund in der gröſseren Dichtigkeit des Quecksilberdampfes in den höheren Temperaturen. Während des Kochens in dem Schenkel der Röhre, in welchem der leere Raum gemacht wurde, zeigte sich das el. Licht in dem ganz reinen und dichten Dampfe des Metalles mit einem solchen Glanze, daſs dieses ein sehr schönes Schauspiel abgab. Während der Quecksilberdampf sich zu Kugeln verdichtete, drang die E., die durch Reiben des Quecksilbers an den Glaswänden erregt wurde, durch den Dampf in so glänzenden Funken hindurch, daſs sie im hellen Tageslichte sichtbar waren [1]. Wenn man in die Leere über

1 Diese Erfahrung ist für die Theorie der Elektricitätserregung besonders wichtig, da sie eine reichliche Erregung derselben auch beim Ausschluſs alles Sauerstoffs und jedes chemischen Processes beweist.

dem Quecksilber die geringste Menge verdünnter Luft hineinliefs, so verwandelte sich jedesmal die Farbe des durch das Hindurchgehen der E. entstandenen Lichtes aus Grün in Meergrün, und liefs man noch mehr Luft hinein, so ging sie in Blau oder Purpur über. Dieser Versuch Davy's erklärt vollkommen jene verschiedenen Farben in den Strahlen (luftleeren Röhren) der el. Sonne, von denen oben die Rede war.

Um allen Quecksilberdampf zu vermeiden, und also das Phänomen in einem, wo möglich absolut leeren Raume darzustellen, versuchte Davy sich statt des Quecksilbers eines leicht zu schmelzenden Zinn-Amalgams zu bedienen, das beim Erkalten in der Röhre anschlofs; die Resultate blieben aber genau dieselben, als da er blofses Quecksilber genommen hatte, woraus erhellte, dafs in der Hitze, wobei das Amalgam schmolz, ein Theil Quecksilber sich als Dampf verflüchtigt haben mufste, der beim Abkühlen nicht ganz verschwinden konnte, sondern nur auf eine geringere Dichtigkeit zurückging. Eine Leere über der leicht schmelzbaren Wismuth-Legirung (das Rose'sche Metallgemisch) hervorzubringen, mufste Davy nach einigen Versuchen aufgeben. Diese Legirung ist so äufserst leicht oxydirbar, dafs sie die Glasröhre mit Schmutz dicht überzog und undurchsichtig machte. Dagegen hat Davy viele Versuche mit Zinn angestellt, welches er in kleine Stücke zerschnitt, und sogleich in die Röhre brachte, worauf diese mit Wasserstoffgas gefüllt, ausgepumpt und einer Hitze ausgesetzt wurde, bei welcher das Zinn schmelzte. Wenn mit dem Erhitzen eine Zeitlang unter Schütteln und daran Klopfen fortgefahren wurde, so erhielt er eine Säule geschmolzenen Zinns, die von aller Luft vollkommen befreit war. Dennoch zeigte der leere Raum über dem Metall dieselben el. Erscheinungen, als in Temperaturen unter 0° F. das über Quecksilber gebildete Vacuum. Das Licht war gelb und von der schwächsten Phosphorescenz, so dafs es fast vollkommen dunkel seyn mufste, wenn man es gewahr werden sollte; die Wärme verstärkte dieselbe nicht merklich. Davy fand auch in der Leere über dem Quecksilber feine mit Kügelchen versehene Platindrähtchen beim Einströmen der E. in dieselben eben so divergiren, als in der Luft selbst. Bei der Art, wie Davy diese Versuche anstellte, ergab sich zugleich der entscheidende Beweis, dafs die Schwäche des Lichtes in der vollkommenen Luftleere nicht davon herrühre, dafs diese

Leere ein Nichtleiter der E. sey, sondern vielmehr umgekehrt, daſs dieselbe ein sehr vortrefflicher Leiter ist, und der Ausbreitung der E. kein Hinderniſs in den Weg legt. Als nämlich die Versuche so abgeändert wurden, daſs die Verbindung, die zwischen dem Quecksilber und dem kürzeren Schenkel und dem Hahnstücke sonst durch einen Draht unterhalten war, aufgehoben wurde, und die E. ihren Weg von jenem Quecksilber nach dem Hahnstücke durch die verdünnte Luft, die sich darin befand, nehmen muſste, so entband dieselbe Entladung von E., welche in dem oberen leeren Theile des längeren Schenkels ein schwaches grünes Licht erzeugte, in dem unteren luftverdünnten Raume ein lebhaftes purpurfarbenes Licht, und gab in der Atmosphäre einen starken Funken.

Auch über Baumöl und Spieſsglanzbutter widerholte Davy den Versuch mit dem el. Lichte im luftleeren Raume. Es fand sich, daſs die E. durch den Dampf des Chlorantimon's mit viel glänzenderem Lichte als durch den Dampf des Baumöls hindurch ging, und in letzterem mit mehr Glanz als im Quecksilberdampfe, bei gewöhnlicher Temperatur erschien, so daſs also auch hier die Dämpfe im Verhältnisse ihrer Dichtigkeit den Glanz vermehrten. Im Dampfe des Chlorantimon's war das Licht von reinem *Weiſs* und im Dampfe des Baumöls *roth* in *Purpur* spielend, und es erzeugte sich in beiden Fällen beim Hindurchgehen der E. ein bleibend elastisches Fluidum. Wenn man Dalton's Gesetz zum Grunde legt, daſs die E. aller Dämpfe in gleichen Temperaturabständen von ihrem Siedepuncte von gleicher Gröſse sey, so ergeben sich bei 52° F. für die Dämpfe des Quecksilbers, Olivenöls, Chlorantimon's und Zinns, von denen die drei ersteren ihre Siedepuncte bei 652; 592 und 388° F. haben, und des letzten Siedepunct von Davy zu 5000° F. angenommen wird, in Zollen von Quecksilbersäulen ausgedrückt, Elasticitäten von 0,000 156; 0,0168 und 0,0169, und 370 mit vorstehenden 48 Nullen, woraus erhellet, wie auſserordentlich gering die Menge von Materie in den Dämpfen ist, deren Wirkung auf die el. Erscheinungen noch wahrgenommen wird. Bis ohngefähr 20° F. (— $5\frac{1}{2}$° R.) schien die Erkältung der Leere noch Einfluſs auf die Verminderung der Licht-Erscheinung beim Durchgehen der E. zu äuſsern, aber zwischen 20° und — 20° F (— $23\frac{1}{3}$° R.) schien dieses Vermögen der Leere nicht weiter vermindert zu werden. Die el. Er-

scheinungen zeigten sich hier fast von derselben Intensität, als die welche Davy in der Leere über geschmolzenem Zinn wahrgenommen hatte, und damit in diesem Falle Leuchten eintreten sollte, mufste die Elektrisirmaschine schon sehr wirksam seyn. Die Torricelli'sche Röhre vermochte nicht eine schwach geladene Leidner-Flasche mit Explosion zu entladen, ohngeachtet sich ihre E. langsam durch sie hindurch verlor. Wenn aber die Flasche stark geladen war, hatte sie durch den leeren Raum fast eine eben so grofse Schlagweite, als durch die gewöhnliche Luft, und zeigte beim Entladen im Schatten sichtbares Licht. In allen Temperaturen unter 200° F. (74⅞° R.) war, wie sich Davy ausdrückt, die Leere über dem Quecksilber ein viel schlechterer Leiter, als die sehr verdünnte Luft, und als sich die Röhre mit der Leere unter dem ausgepumpten Recipienten der Luftpumpe in einer Temperatur von ohngefähr 50° F. (8° R.) befand, war die Schlagweite in der Boyle'schen Leere 6 mal so grofs, als in der Torricelli'schen Leere über dem Quecksilber. Diese letztere Erfahrung scheint mir indefs nicht unbedingt auf ein gröfseres Leitungsvermögen, der verdünnten Luft wie der Leere, für die E. hinzudeuten, denn es konnte die Leere vielmehr wegen ihres viel bessern Leitungsvermögens eine fortdauernde Ableitung, einen Durchgang der E. durch sich hindurch, veranlassen, und die zu einer gröfseren Schlagweite nöthige Spannung nicht gestatten, gerade so wie eine Flasche, die mit einer Spitze versehen ist, die das Ausströmen erleichtert, nie zu derselben Schlagweite geladen werden kann, wie dieselbe Flasche ohne Spitze. Damit würde denn auch die Erklärung der Abnahme der Lichterscheinung in der Leere sehr gut zusammenstimmen, indem el. Lichterscheinungen nur da zum Vorschein kommen, wo die E. in ihrer Fortbewegung Widerstand findet, welcher in der Leere gänzlich, oder so gut wie gänzlich fehlt (wegen der aufserordentlichen Dünnheit des Quecksilberdampfes bei der gewöhnlichen Temperatur), aber in der verdünnten Luft bereits statt findet. Indefs kann sich in dieser die E. bei derselben Spannung, wegen des relativ geringeren Widerstandes, doch auf gröfsere Entfernungen entladen, als in der Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit, und bildet dann mehr eine ausgebreitete Lichterscheinung, selbst wenn sie von stumpfen Körpern ausgeht, weil sie wegen des geringeren Widerstandes zugleich von mehreren

Puncten ausstrahlen kann. Uebrigens werden einige besondere Modificationen der el. Lichterscheinungen in der verdünnten Luft weiter unten, wo die Frage über zwei el. Materien zu erörtern ist, passender betrachtet werden, da man in dem über diese Frage herrschenden Streite sich vorzüglich auf sie berufen hat.

Bei der Mittheilung der E. an verschiedene Körper und bei ihrem, mit dieser Mittheilung verbundenen, Durchgange bringt dieselbe merkwürdige chemische Veränderungen hervor, die ich unter den Artikel *Elektrisirmaschine* und *Flasche, elektrische,* verweise, da sie nur durch Hülfe dieser beiden zu Stande gebracht werden können.

V. Elektrische Wirkungskreise und Vertheilung der Elektricität.

Die merkwürdigsten Erscheinungen der E., welche für die Naturforscher lange Zeit räthselhaft geblieben sind, hängen von den Gesetzen der *el. Wirkungskreise* ab, deren richtige Unterscheidung von den bisher angegebenen Gesetzen und Wirkungen der Mittheilung der Schlüssel zu allen Geheimnissen dieser Lehre ist, und selbst über den Vorgang der Mittheilung der E. erst die richtige Ansicht eröffnet.

Ein elektrisirter Körper nämlich wirkt auf andere Körper schon in Entfernungen, welche für die Mittheilung viel zu groſs sind. Der Raum, durch welchen sich diese Wirkung erstreckt, heiſst sein *Wirkungskreis,* oder nach andern seine *el. Atmosphäre.* Das Hauptgesetz, nach welchem sich diese Verbreitung richtet, ist folgendes: *Jeder elektrisirte Körper hat das Bestreben, in denjenigen Körpern, welche in seinen Wirkungskreis kommen, eine der seinigen entgegengesetzte E. zu erwecken, und das Vermögen, das in einem Körper vorher bestandene el. Gleichgewicht, oder das 0 E. aufzuheben, gegen sich die der seinigen entgegengesetzte E. hinzuziehen, und die gleichnamige zurückzustoſsen.*

Dieses Gesetz, welches unzählige Erfahrungen bestätigen, ist eine ganz neue Quelle von Wirkungen, die von den Wirkungen der Mittheilung sehr weit unterschieden sind. Man kann sie unter dem Namen: *Vertheilung* der E. zusammenfassen, und in gewissem Sinne der Mittheilung entgegensetzen.

Jener Name wird dadurch gerechtfertigt, daſs ein, durch Vertheilung el. gewordener Körper keine E. von Auſsen durch Mittheilung empfangen hat, sondern daſs nur seine eigene E. im Raume anders vertheilt ist, und dadurch nunmehr als nach Auſsen freithätige E. auftritt, da sie vorher, als 0, unwirksam nach Auſsen war. Die Erscheinungen der Vertheilung, obschon nach dem gleichen Gesetze erfolgend, fallen verschieden aus, je nachdem der Körper, auf welchen ein anderer elektrisirter durch seine Atmosphäre wirkt, ein Leiter oder Nichtleiter, und ersterer isolirt ist, oder mit dem Erdboden in Verbindung steht.

Der erstere Fall stellt diese Erscheinungen am deutlichsten und in ihrer gröſsten Mannigfaltigkeit dar, und man kann die dieselben darstellenden Versuche gleichsam die Fundamentalversuche der el. *Atmosphärenwirkung* nennen. Man nehme zwei el. Leiter, beide gehörig auf Glasfüſsen isolirt, A und B am besten von länglicher cylindrischer Form mit Halbkugeln an beiden Enden versehen. Die zu einer kleineren Elektrisirmaschine gehörigen Conductoren können sehr gut zu diesen Versuchen gebraucht werden. Der eine Leiter A sey elektrisirt, an dem andern befestige man mit weichem Wachs in verschiedenen Entfernungen mehrere Paare von kleinen, an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkügelchen, welche als Anzeiger der el. Vorgänge im Leiter B dienen. Operirt man mit schwächeren Graden von E., so kann man sich auch mehrerer Goldblattelektrometer bedienen, die an verschiedenen Stellen von vorne nach hinten mit dem Leiter B in Berührung gebracht werden können, um auf die oben schon angegebene Weise den Grad und die Art der E., welche an den verschiedenen Stellen des Leiters B auftritt, zu prüfen. Man nähere nun den mit + E. elektrisirten Leiter A dem Leiter B, und bringe ihn in die Lage, wie die Figur andeutet, so daſs ihre Entfernung von einander etwas gröſser ist, als die gröſste Entfernung, bei welcher ein Funken von A nach B noch übergehen würde; mit der Annäherung werden die Hollundermarkkügelchen aus einander gehen, und zwar die am vordern und hintern Ende bei der in der Figur angegebenen Einrichtung am stärksten, die in der Mitte weniger stark, vielleicht auch bei nicht starker Intensität der E. des Leiters A gar nicht. Prüft man dagegen die E. durch ein Goldblattelektrometer, das man mit dem Leiter B an verschiedenen Stellen in Verbindung bringt, nachdem schon die Annäherung des Leiters erfolgt ist, so wird

Fig. 30.

man die Divergenz der Goldblättchen von vorne nach hinten zunehmend finden. Um die Art der E. des Leiters an verschiedenen Stellen zu prüfen, kann man sich eines an einem mit Lack gesteiften Faden hängenden Hollundermarkkügelchens bedienen, das man mit den verschiedenen Stellen des Leiters B in Berührung bringt, und dann einen andern an einem seidenen Faden hängenden Hollundermarkkügelchen nähert, dem man vorher + E. mitgetheilt hat[1]. Man wird finden, daſs letzteres von jenem abgestoſsen werden wird, mit welchem Puncte des Leiters B dasselbe auch in Berührung gebracht worden war, daſs es aber von dem hintern Ende V nach dem vordern R geführt immer schwächer und schwächer mit + E. geladen ist. Dasselbe werden auch die Goldblättchen der verschiedenen Goldblattelektrometer zeigen, die bei Annäherung einer geriebenen Glasröhre noch stärker divergiren werden. Es hat also nach diesen Versuchen den Anschein, daſs der Leiter B wirklich von dem Leiter A Elektricität empfangen habe, da er sich in der That in seiner ganzen Längen-Ausdehnung + el. zeigt, und dieser Anschein gewinnt noch dadurch, daſs die positive E. des Leiters A, so lange er in der Nähe des Leiters B sich befindet, durch Elektrometer geprüft, geschwächt erscheint. Daſs dies aber in der That sich nicht so verhalte, erfährt man sogleich durch einen zweiten Versuch. Man entferne nämlich nunmehr den Leiter B aus dem Wirkungskreise des Leiters A, in dem Augenblicke gehen alle Hollundermarkkügelchen zusammen, und bei gehöriger Entfernung sind auch die leisesten Spuren von E. in dem Leiter B gänzlich verschwunden. Untersucht man den Leiter A, dessen el. Spannung man vorher durch irgend ein genaues Elektroskop ausgemittelt hat, so wird man finden, daſs er von seiner eigenen E. nicht mehr (ja vielmehr noch etwas weniger wegen des mehr gebundenen Zustandes seiner E.) verloren hat, als er auch ohne dies durch die Berührung der Luft verloren haben würde.

Man bringe den Leiter B in die vorige Lage zurück, dieselben Erscheinungen erneuern sich; man berühre nun das vom Leiter abstehende Ende V des Leiters B mit dem Finger, man wird einen kleinen Funken erhalten, und jede Spur von freier E. wird in dem Leiter B verschwunden seyn, wie man auch

---

1 Noch besser gebraucht man zu diesem interessanten Versuche Bohnenberger's Elektrometer.

aus dem Zusammenfallen der vorhin von einander abstehenden Hollundermarkkügelchen erkennen kann. Entfernt man den Leiter B in diesem neuen Zustande von dem Leiter A, so werden, ganz anders wie im vorigen Falle, die sämmtlichen an ihm hängenden Hollundermarkkügelchen von neuem aus einander gehn, und zwar mit einer derjenigen des Leiters A entgegengesetzten E., also im vorliegenden Falle mit negativer E. Der elektrisirte Leiter A, in Rücksicht auf seinen el. Zustand untersucht, wird auch diesmal keinen andern Verlust zeigen, als den er auch ohnehin durch Berührung der Luft erlitten haben würde. Um das Zusammenfallen der Korkkügelchen, und also die Aufhebung der freien positiven E. des Leiters P, so lange er sich im Wirkungskreise des Leiters A befindet, zu bewirken, ist es übrigens nicht nöthig, gerade das abgekehrte Ende des Leiters B zu berühren, sondern die Berührung an jedem andern Orte wird denselben Erfolg haben, nur wird der Funken nach vorne immer kleiner ausfallen. Dies beweiset unter andern folgender von Röslin[1] angegebene Versuch, dessen Resultat er indefs mit Unrecht als einen Beweis gegen die Franklin'sche Theorie angesehen hat. Man schraube an das eine Ende eines auf einem Glasfufse isolirten cylindrischen Leiters, an dessen anderem Ende zwei Hollundermarkkügelchen hängen, eine ganz glatte und breite Metallplatte an, und nähere dieser eine geriebene, also + E. haltige Glasstange, so gehen die Kügelchen mit + E. aus einander. Berührt man nun die der Glasstange zugekehrte Fläche der Metallplatte mit einem Leiter z. B. dem Finger, so fallen sie eben so gut zusammen, wie wenn man das abgekehrte Ende unmittelbar berührt hätte; entfernt man zuerst die Finger und dann auch die Glasstange, so gehen die Hollundermarkkügelchen abermals, aber mit negativer E. aus einander, und der Leiter ist auf seiner ganzen Oberfläche negativ el. Röslin glaubt hierin einen Widerspruch mit der Franklin'schen Theorie zu finden, weil sich negative E., welche nach Franklin in einem Mangel besteht, einem Leiter von Aufsen nicht mittheilen lasse, aber die Franklin'sche Theorie ist zur Annahme einer solchen Mittheilung auf keine Weise genöthigt, sondern sie wird das Phänomen vielmehr durch Entziehung der freien positiven E. des

1 S. dessen kritische Prüfung und Berichtigung der bisherigen Elektricitätslehre 1823. S. 19.

durch Vertheilung el. gewordenen Leiters, die aus allen Puncten desselben, jedoch mit sehr verschiedener Intensität sich zu verlieren strebt, befriedigend erklären können. Ein ganz gleiches Phänomen (und insofern bedurfte es nicht erst dieses Versuches) zeigt sich auch beim Deckel des Harzkuchens eines Elektrophors, dessen durch die negative E. des Harzes zurückgetriebene negative E. nicht bloß an der abgekehrten Fläche oder am Rande des Deckels, sondern selbst von der auf dem Harzkuchen unmittelbar aufruhenden Fläche abgeleitet oder nach Franklin mit E. von Außen ausgeglichen werden kann.

Einige Physiker, unter andern Parrot[1] haben eine ganz verfehlte Ansicht der Vertheilung aufgestellt, wenn sie den in der Atmosphäre des z. B. mit + E. elektrisirten Leiters A befindlichen Leiter B gleichsam als einen el. Magnet darstellen, dessen eine abgekehrte Hälfte freies + E., die andere zugekehrte Hälfte freies — E. habe, welche durch eine Sphäre von el. Differenz oder 0 E. in der Mitte von einander getrennt seyen, so daß Hollundermarkkügelchen, die an verschiedenen Puncten des Leiters aufgehängt würden, in gleicher Entfernung von dieser Mitte gleich stark divergirten, jedoch mit entgegengesetzter E., an der dem + E. zugekehrten Hälfte nämlich mit negativer, an der abgekehrten Hälfte mit positiver E., daß die in der Mitte angehängten Kügelchen ohne alle Divergenz seyen, und wenn man das abgekehrte Ende des Leiters mit dem Finger berühre, mit dem Aufhören der Divergenz der an ihm hängenden Kügelchen die der an der vordern Hälfte hängenden zunähme. Schon aus bloßen Begriffen läßt sich die Unrichtigkeit dieser Ansicht einsehen, da ja das — E. am vordern Ende nur durch die stärkere Wirkung des Leiters A, in dessen Wirkungskreise sich B befindet, von seinem + E. getrennt worden ist, und getrennt gehalten wird, also auch eben so *vollkommen* gebunden seyn muß, als es vorher gebunden war, und folglich auf keine Weise als freies — E. nach Außen wirken kann. Jeder Versuch kann aber auch zur Widerlegung dienen, welcher zeigen wird, daß das Probekügelchen, mit welchem Puncte des Leiters B, ob an der vordern, nach Parrot negativ seyn sol-

1 S. unter andern dessen Entretiens sur la Physique Tome V. 1822. p. 28.

lenden, oder an der abgekehrten positiven Hälfte man es in Berührung bringt, stets *positiv* el. erscheinen wird. Aber freilich kann es sich ereignen, daſs die an der vordern Hälfte hängenden Korkkügelchen stärker divergiren werden, als die in der Mitte hängenden, weil die dem vordern Ende des Leiters B nähere positive E. des Leiters A mehr + E. in diese Korkkügelchen herabtreiben, und dieselbe in höherem Grade spannen wird, indem die — E., dieses vorderen Endes durch die + E. des genäherten Leiters A am meisten gebunden ist. Die richtige Ansicht eines in der Atmosphäre eines ± elektrisirten Leiters A befindlichen Leiters B ist vielmehr diese, daſs er von vorne nach hinten gleichzeitig ∓ el. ist, so zwar, daſs wenn A + E. hat, die — E. am vordern Ende am stärksten angehäuft ist, und abnehmend nach hinten, aber in ihrer ganzen Ausdehnung vollkommen gebunden, die + E. dagegen am stärksten angehäuft nach hinten, abnehmend nach vorne, aber in ihrer ganzen Ausdehnung frei ist, daher sie an jedem Puncte entzogen werden kann, während die — E. zurückgehalten bleibt. Dasselbe gilt nur mit verkehrten Zeichen, wenn der Leiter A — el. ist. Indeſs lassen sich doch durch eine eigenthümliche Art des Verfahrens die beiden Elektricitäten im Raume getrennt und doch jede für sich frei thätig darstellen, die noch weiter zur Erläuterung des ganzen Vorganges der Vertheilung dient. Dieser Versuch ist schon von Wilke angestellt worden. Man setze einen Metallcylinder AB aus zwei von einander trennbaren Stücken AC und CB in C zusammen, und zwar so, daſs beide Theile isolirt mit einander in Berührung gebracht und auch wieder von einander getrennt werden können. Man setze sie in Berührung mit einander, und halte dem einen Theile AC eine geriebene, und also + E. haltige Glasröhre, oder auch einen mit + E. geladenen Leiter, wie im obigen Versuche, gegenüber, doch in hinlänglicher Entfernung, daſs kein wirklicher Uebergang von E. erfolgen kann. Während dieser Stellung ziehe man den zweiten Theil BC des Leiters ACB weg, entferne dann auch die Glasröhre oder den elektrisirten Leiter, und untersuche nun den el. Zustand der beiden Hälften AC und BC. Man wird dann AC negativ, BC positiv finden, so lange AC in der Nähe des elektrisirten Leiters sich befand. Wird indeſs die durch den genäherten elektrisirten Körper gebundene negative E. der vordern Hälfte mit der Entfernung desselben vor der Trennung

Fig. 31.

beider wieder frei, so kann sie mit der + E., die in der hintern Hälfte angehäuft war, wieder zu 0 zusammentreten.

Man hat es indeſs in seiner Gewalt, durch eine besondere Vorrichtung vermöge der Vertheilung beide Elektricitäten in einem Leiter im freien Zustande darzustellen, so daſs die zwei polaren Hälften durch eine Zone von Indifferenz oder 0 E. von einander getrennt sind. Einen interessanten Versuch dieser Art hat Remer bekannt gemacht[1]. Er bediente sich hierzu einer Cylindermaschine, deren Reibzeug mit einem gleichen isolirten Conductor verbunden war, wie der sogenannte erste oder positive Leiter. A ist der positive, B der negative Conductor, beide isolirt; c und d sind geschärfte Drähte, welche auf die Conductoren gesteckt werden, und EF ist ein gebogener Draht, der isolirt über dem Cylinder der Maschine so aufgehängt ist, daſs das Ende E desselben von der Spitze c und das Ende F von der Spitze d nur 1,5 Zoll absteht. Wurde der Cylinder der Maschine in Bewegung gesetzt, so zeigte sich auf der Spitze d ein Strahlenpunct, an F ein Büschel, an E ein Punct, an c ein Büschel. Hieraus ergiebt sich also, daſs die beiden entgegengesetzten Enden des Drahtes EF mit freier entgegengesetzter E. auftraten, indem der Strahlenpunct an E auf *negative*, der Strahlenbüschel an F auf *positive* E. hinweiset. Aber nicht bloſs diese Endpuncte zeigen entgegengesetzte Elektricitäten, sondern auch die beiden Hälften des Drahtes; denn an seidenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen, positiv elektrisirt, wurden von allen Puncten der einen Hälfte von F nach I abgestoſsen, von allen Puncten der andern Hälfte angezogen, und umgekehrt verhielten sich negativ elektrisirte Hollundermarkkügelchen; nur von der mittlern Stelle in I wurden beide gleichmäſsig angezogen, was nur unter der Bedingung möglich war, daſs I, 0 E. hatte. Die Stelle des el. Indifferenzpunctes an dem Drahte konnte dadurch verändert werden, daſs man den positiven oder negativen Leiter mit dem Erdboden in Verbindung setzte. Wurde z. B. der negative Leiter B mit dem Erdboden verbunden, so war zwar in Ansehung der Lichterscheinungen an den Spitzen alles wie im vorigen Versuche, aber der Indifferenzpunct lag nun nicht mehr in I sondern der Draht war von F bis x positiv elektrisirt, von x bis E hingegen negativ, und der Indifferenzpunct lag in x.

Fig. 32.

---

1 Gilb. Annalen XVII. 15.

Als darauf der Conductor A mit dem Erdboden verbunden und B wieder isolirt wurde, so fand sich bei fortdauernden gleichen Lichterscheinungen der Draht zwischen E und y negativ, zwischen y und F positiv. Folglich war nun y der Indifferenzpunct geworden. Es ist zwischen diesen Phänomenen und den Phänomenen der gewöhnlichen Vertheilung, wo es nicht zur wirklichen Bewegung der E., zum Ausströmen kommt, der bemerkenswerthe Unterschied, daſs auch diejenige E., welche durch die ihr entgegengesetzte aus dem 0 entwickelt und angezogen wird, im ersteren Falle nicht gebunden ist, sondern mit freier Spannung auftritt, wovon der Grund in der eigenthümlichen Wirkung der Spitzen und in der dadurch eingeleiteten wirklichen Bewegung der Elektricitäten zu suchen ist[1].

Anders als bei den Leitern verhalten sich die Phänomene der Vertheilung bei den Nichtleitern. Ein Nichtleiter wird zwar an dem Ende, welches in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers gebracht worden ist, ganz nach dem obigen Gesetze el. werden, aber dieses wird sich wegen des Widerstandes, den der Nichtleiter als solcher der Verbreitung der E. entgegensetzt, nur auf eine geringe Weite erstrecken und nicht sehr stark seyn. Weiterhin wird der Leiter abwechselnde Zonen von + E. und — E. erhalten, von denen stets die folgende durch den Wirkungskreis der vorhergehenden hervorgerufen worden ist. Eine lange Glasröhre z. B. gegen + E. gehalten, wird am nächsten Ende auf einige Zolle weit — E., dann einige Zolle weit + E., dann wieder — E. u. s. f. zeigen, welche Elektricitäten aber weiter hin immer schwächer werden und sich endlich ganz verlieren. Die nicht leitende Eigenschaft des Glases nämlich verhindert den wirklichen Uebergang, und so zeigen sich bloſs die Wirkungen der Atmosphären, welche abwechselnd sind, weil jede folgende Zone im Wirkungskreise der vorhergehenden liegt, und abnehmend, weil jede E., die aus der Ferne wirkt, eben darum nur eine kleinere Quantität, als sie selbst beträgt, aus dem 0 freimachen kann. Etwas ganz ähnliches bemerkt man auch bei der Magnetisirung eines längeren Stabes von Stahl, der gleichfalls ein Nichtleiter oder wenigstens schlechter Leiter des Magnetismus ist, durch einen Magnet, der mit seinem einen Pole bloſs an das Ende des Stabes gehalten wird. Auch hier

1 S. *Spitzen*.

zeigen sich längs dem Magnetstabe abwechselnde Schichten oder Zonen von nördlicher und südlicher Polarität, die abnehmend sind.

Bringt man in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers einen andern schon elektrisirten, so werden sich gleichfalls Erscheinungen zeigen, die dem obigen Gesetze gemäfs sind. Wird der Körper mit der Erde verbunden, so wird er seinen Zustand dem Gesetze gemäfs ändern. Der Fall ist dann eigentlich gleich geltend mit dem obigen, da durch diese Verbindung mit der Erde jeder Körper aus dem ± Zustande in den 0 el. Zustand zurücktritt; ist er isolirt, so wird er seinen el. Zustand so weit ändern, als die Umstände es zulassen, und übrigens ihn noch mehr zu ändern fähig seyn. Bringt man z. B. + E. in den Wirkungskreis von — E., so wird die + E., wenn sie mit der Erde verbunden wird, nach Mafsgabe der Umstände sich mit — E. aus dem Erdboden zum Theil ausgleichen, oder unverändert bleiben, oder einen Zuwachs von + E. aus dem Erdboden erhalten, je nachdem im Verhältnisse der jedesmaligen Entfernung, aus welcher — E. wirkt, und ihrer ursprünglichen Intensität, sie entweder nicht im Stande ist, die vorhandene + E. vollkommen zu binden, oder gerade hinreichende Wirksamkeit hierzu hat, oder noch mehr + E. binden kann. Ist der Körper, an welchem sich + E. befindet, isolirt, so wird er fähig werden, mehr + E. anzunehmen und unfähiger, + E. zu verlieren oder mitzutheilen, d. h. mit andern Worten, der Körper wird unter diesen Umständen mehr Capacität für + E. und eine gröfsere Tenacität in Beziehung auf dasjenige, was sich bereits an ihm befindet, erhalten. Dies erklärt die Erscheinungen des *Collectors, Condensators, Duplicators, Multiplicators* [1]. Ist die E. des isolirten Körpers, welcher in den Wirkungskreis eines andern elektrisirten Körpers kömmt, gleichartig mit derjenigen des letztern, so verhält sich alles umgekehrt; seine E. wird an Spannung zunehmen, er wird unfähiger, neue von derselben Art aufzunehmen, fähiger sie zu verlieren, oder seine Capacität für dieselbe Art von E. welche er besitzt, ist vermindert.

Aus dem Gesagten erhellet nun auch von selbst, dafs jeder Mittheilung von E. Vertheilung vorangeht, und dafs sie, soferne hier die Theorie zweier Materien zum Grunde gelegt,

1 S. diese Artikel.

oder den beiden durch + und — bezeichneten Elektricitäten eine zweckmäfsige Wirksamkeit, jedoch eigenthümlich für jede zugeschrieben wird, nicht in einer blofs einseitigen Einwirkung, sondern in einem wechselseitigen Geben und Empfangen besteht. Ehe zwei Körper, wovon der eine elektrisirt ist, und sich also in dem Falle der Mittheilung an den andern unelektrisirten befindet, einander so nahe kommen, dafs eine wirkliche Mittheilung oder Ausgleichung vorgeht, hat der elektrisirte Körper bereits durch Vertheilung in dem andern die der seinigen entgegengesetzte E. gegen sich gezogen, und die Verminderung, die er an E. erleidet, beruht daher nicht blofs auf einem Uebergange eines Theils seiner E. an den andern Körper, sondern zugleich auf dem Uebergange jener entgegengesetzten E. zu ihm selbst, und davon abhängiger Ausgleichung eines verhältnifsmäfsigen Antheils zu 0, wodurch in jenem andern Körper, wenn er isolirt ist, ein verhältnifsmäfsiger Antheil der entgegengesetzten, und mit derjenigen des elektrisirten Körpers gleichnamigen E. freigeworden ist, die folglich eben so sicher seinen Zustand, nachdem es zur Ausgleichung gekommen ist, mitbestimmt, als denjenigen Theil, welchen er empfangen hat. Indefs irren diejenigen, welche der Meinung sind, dafs alle E. welche ein solcher Körper nach dem Vorgange der Mittheilung, und also nach vollendeter Ausgleichung zeigt, lediglich aus seinem eigenen 0 hervorgegangen sey, denn nothwendig mufs die freie E. des el. Körpers, da sie die entgegengesetzte des nicht elektrisirten an Intensität übertrifft, den Zwischenraum, wenn es zu einer wirklichen Ausgleichung durch einen vorübergehenden Funken kommt, eher durchbrechen und folglich kann sie eben wegen ihrer gröfsern Intensität auch nicht durch den von ihr hervorgerufenen Gegensatz völlig ausgeglichen werden, und mufs demnach neben der ihr gleichnamigen E., die sie gleichzeitig aus jenem 0 frei gemacht hat, zugleich zu dem neu gewordenen el. Zustande jenes Körpers mit beitragen.

Aus dem Gesetze der Atmosphärenwirkung erklärt sich auch das Anziehen und Zurückstofsen leichter Körper. Eine geriebene + E. haltige Glasröhre, leichten Körpern genähert, erweckt in ihnen, sobald sie in ihren Wirkungskreis kommen, — E., und dann ziehen beide einander an. Sobald diese Körperchen aber die Röhre berühren, erfolgt Mittheilung in dem eben angegebenen Sinne, die Körperchen haben + E. und die

Glasröhre stöfst sie zurück. So lange sie isolirt bleiben (wenn sie z. B. an einem seidenen Faden aufgehängt sind) behalten sie, wenigstens eine Zeitlang, ihre + E., und werden nicht wieder angezogen, sondern fortdauernd abgestofsen. Sobald sie aber einen Leiter von hinlänglicher Gröfse berühren, z. B. auf den mit der Erde verbundenen Tisch zurückfallen, gleichen sie sich mit diesem aus, d. h. gehen auf 0 zurück; sind sie dann noch im Wirkungskreise der Glasröhre, so wird von neuem E. in ihnen hervorgerufen und zunächst dieses, mit demselben aber zugleich werden auch die Körperchen angezogen, und so erfolgt ein fortgesetztes Hin- und Hergehen, wodurch endlich die Glasröhre oder wenigstens eine Stelle derselben wieder in den 0 el. Zustand versetzt wird. Darauf gründen sich die Versuche mit *tanzenden Figuren* von Papier, oder um sie recht recht leicht zu machen, von Goldschlägerhaut, zwischen einer elektrisirten und einer mit der Erde verbundenen Metallplatte, wobei es gewöhnlich nicht bis zur Berührung jener elektrisirten kommt, weil die Puppen wegen ihrer zugespitzten Gestalt ihre entgegengesetzte E. schon aus einiger Entfernung abgeben; ferner der Versuch mit der *Flaumfeder*, die zwischen einer geriebenen Glasröhre und Siegellackstange wie ein Federball hin und her fliegt; mit den *Kork-* oder *Hollundermarkkügelchen*, die auf dem Tische unter einer elektrisirten Glocke auf- und abtanzen, und wenn sie von grofser Anzahl und von hinlänglicher Kleinheit sind, (noch besser Schnitzelchen von Goldpapier) durch ihr Geräusch bei dieser Hin- und Herbewegung den sogenannten *el. Regen* darstellen.

Bemerkenswerth ist bei diesem zuletzt erwähnten el. Spielwerke, dafs wenn die Kügelchen nicht mehr in die Höhe springen, sondern alles ruhig geworden ist, man den Tanz erneuern kann, wenn man die Glocke von aufsen mit der Hand umspannt, und zwar zu wiederholtenmalen, was sich aus den Gesetzen der Ladungsflasche erklärt, mit welcher eine solche Glocke zu vergleichen ist, deren innere Wandung man durch das Ausströmen einer Spitze elektrisirt hat, während man sie von Aufsen mit der Hand umfafst hält.

Aus dem Gesetze der Vertheilung erklären sich auch die Resultate der Versuche und Beobachtungen, welche Heller[1]

1 S. Gren's neues Journal der Physik II. 397.

über den Einfluſs des verschiedenen hygrometrischen Zustandes der Luft auf gewisse el. Erscheinungen gemacht hat. Der Apparat zu diesen Versuchen bestand in einem auf einem verticalen Glasfuſse horizontal liegenden isolirten Messingstäbchen, das an beiden Enden mit Knöpfen versehen war. An einem dieser Knöpfe hängen an leinenen Fäden zwei Hollundermarkkügelchen herab. Zur Prüfung der E., mit welcher in den angestellten Versuchen die Hollundermarkkügelchen divergirten, bediente er sich nach der bekannten Weise einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange. Die Feuchtigkeit der Luft maſs er durch ein Federkielhygrometer. Berührte er dann das Messingstäbchen in seiner Mitte mit der geriebenen Glasröhre, so divergirten die Fäden, fielen aber auch kurz darauf wieder zusammen. Als hierauf die Glasröhre von dem Stäbchen entfernt wurde, divergirten die Fäden zum zweitenmale. Diese beiden Divaricationen hingen von entgegengesetzten Elektricitäten ab, die erstere von positiver E., die zweite von negativer. Dieses erklärt sich nach dem Gesetze der Vertheilung so, daſs die Glasstange nach der Mitte, wo sie die Messingstange berührte — E. hinzog, und nach den beiden Enden + E. zurücktrieb, die die Hollundermarkkügelchen an dem einen Ende zur Divergenz brachte, sich aber auch in die Luft zerstreute, weswegen die Kügelchen wieder zusammenfielen, während die negative E. gebunden durch die positive der Glasröhre sich nicht zerstreuen, aber auch nicht an die Glasröhre übergehen konnte, wegen der wenigen Berührungspuncte mit dem Glase und der Hindernisse, die das Glas durch seine nichtleitende Eigenschaft und seine glatte Oberfläche diesem Uebergange entgegensetzte, weswegen dann nach Entfernung der Glasröhre diese negative E. in den freien Zustand überging, und da die + E. der 0, aus dem sie angezogen worden war, sich inzwischen zerstreuet hatte, nicht wieder zu 0 gebunden werden konnte, und eine zweite Divarication der Hollundermarkkügelchen bewirkte. Das Interessante bei diesen Versuchen war nun, daſs es lediglich auf den hygrometrischen Zustand der Luft ankam, ob nur die eine oder beide Divergenzen eintraten, und ob die erste oder die zweite die gröſsere war. Bei sehr trockener Luft, wie sie schon bei 45° seines Hygrometers statt fand, und noch gewisser bei höheren Graden desselben fand keine zweite Divarication statt, sondern nur eine erste, und diese war dauernd und groſs. Dieses

erklärt sich daraus, dafs in diesem Falle in der kurzen Zeit des Versuchs die freigemachte E. sich nicht zerstreuen konnte, und folglich nach Entfernung der Glasröhre oder Siegellackstange seinen inzwischen gebundenen Gegensatz wieder zu 0 ausglich, weswegen die Kügelchen nicht zum zweitenmale aus einander gehen konnten. Bei 40° bis gegen 26° des Hygrometers (also bei zunehmender Feuchtigkeit) wechselten die eine und die zwei Divaricationen ab, letztere wurden immer häufiger, je tiefer der Grad wurde. Endlich bei einer Feuchtigkeit unter 20° war weder die erste noch die zweite Divarication zu sehen, sondern die E. zerstreute sich augenblicklich. In der Epoche der Divaricationen war es angenehm zu bemerken, wie die Gröfse der zweiten Divarication mit der Anzeige des Hygrometers correspondirend war, nämlich wenn die zweite Divarication zu einer Stunde des Tages gröfser als zu einer andern war, so hatte die Feuchtigkeit der Luft zugenommen, und umgekehrt. Durch eine kleine Uebung brachte Heller es dahin, diese Zunahme der Feuchtigkeit blofs aus der Beobachtung der Gröfse der zweiten Divarication mit Gewifsheit vorauszusagen, so dafs dieser so einfache Apparat wenigstens für die Epoche der zwei Divaricationen ihm statt eines Hygrometers diente. Nach der oben zum Grunde gelegten Erklärung ist es begreiflich, dafs, so wie die Feuchtigkeit der Luft zunahm, die Epoche der zwei Divaricationen eintreten mufste, weil nun während des auch ganz kurzen Anhaltens der Glasröhre ein Theil der + E. sich durch die feuchte Luft zerstreuen mufste, und folglich bei Entfernung der Glasröhre die durch dieselbe gebunden gehaltene — E. nicht vollkommen zu 0 gebunden werden konnte, sondern zum Theil zu überwiegend bleiben mufste. Eben so begreiflich ist es, wie die zu einer Zeit verhältnifsmäfsig gröfsere zweite Divarication als zu einer andern Zeit für jene erstere eine gröfsere Feuchtigkeit anzeigen mufste, weil eben darum in der gleichen Zeit sich mehr von der + E. zerstreuen, und also von der gebunden gewesenen — E. ein verhältnifsmäfsig gröfserer Theil als frei auftreten mufste[1].

So einfach die Gesetze der E. sind, so mannigfaltig werden doch ihre Anwendungen durch die fast unzähligen einzelnen Fälle

---

1 Aus dieser Darstellung ergiebt sich, dafs hierbei von einer wenigen Divarication, welche Fischer phys. Wört. VI. 267. hineinbringt, nicht die Rede seyn kann.

die sich daraus erklären lassen. Es ist sehr bequem, sich über Ausdrücke zu vergleichen, mit welchen man das, was in jedem einzelnen Falle vorgeht, verständlich und übereinstimmend bezeichnen könne. Aus diesem Grunde sollen hier die wenigen Fundamentalgesetze der E. in der Sprache angeführt werden, in welcher sich die neueren Physiker über dieselben ausdrücken. Wie weit diese Sprache, diese angenommenen Zeichen, die nur dadurch unzweideutig sind, daſs sie als bloſse Formeln oder Gleichnisse für bestimmte sichere Erfahrungen gelten sollen, richtig gewählt sind, wie weit sie das Wesen der Erscheinungen selbst gehörig darstellen, darüber wird erst weiter unten in der Untersuchung der Ursache dieser Erscheinungen entschieden werden können.

VI. Uebersicht der Gesetze der Elektricität.

Man nenne eines Körpers Elektricität überhaupt E.; im natürlichen Zustande, wo er keine el. Erscheinungen zeigt, ist dieses $E = 0$, was gleichbedeutend mit *el. Indifferenz* ist.

Da es aber, wie schon oben im Allgemeinen gezeigt worden, zwei verschiedene Elektricitäten giebt, die sich gegen einander wie entgegengesetzte Gröſsen verhalten, oder deren jede für sich ähnliche Wirkungen zeigt, eine aber die andere aufhebt, so nenne man diejenige, welche das geriebene Glas zeigt, und jede andere mit derselben specifisch gleichartige, + E., die ihr entgegengesetzte, welche die geriebene Siegellackstange zeigt, und jede andere mit ihr specifisch gleichartige — E. Man betrachte ferner den natürlichen Zustand der Körper, in welchem sie keine el. Erscheinungen zeigen, als $+E - E = 0$, d. h. man schreibe jedem Körper, der keine el. Erscheinungen zeigt, eben soviel + E. als — E. zu, die sich beide völlig aufheben, wechselseitig binden und im Gleichgewichte halten. So ist der Zustand eines elektrisirten Körpers nichts anders als *Aufhebung der Gleichheit der beiden E., oder Störung des Gleichgewichts.* Zu dieser Annahme ist man dadurch berechtigt, daſs gleiche Mengen von freiem + E. und — E. gemessen durch das Product der mittleren Spannung in die Oberfläche, an welcher sie sich befinden, mit einander stets 0 geben, und aus dem natürlichen Zustande oder dem 0 E. in allen Fällen, wo E. freithätig wird, beide Elektricitäten zugleich hervortreten, und zwar gerade in dem Verhältnisse um wieder 0 E zu geben.

Gleichartige Elektricitäten stofsen sich zurück, entgegengesetzte ziehen sich an; die Weite, auf welche sich dieses ringsum erstreckt, macht den Wirkungskreis einer E. aus. Die ± E., oder der Theil der ± E., der auf Anziehung seines Gegensatzes verwendet, und von diesem nach dem Gesetze der Gegenwirkung wieder angezogen wird, kann natürlich nichts weiter bewirken. Man nennt ihn *gebunden.* Hört das Anziehen auf, so sagt man, er werde frei oder sensibel, er wird nämlich nun fähig nach Aufsen zu wirken, und sich durch anderweitige von ihm abhängige Anziehungs- oder Repulsionserscheinungen zu offenbaren.

Im natürlichen Zustande binden sich beide Elektricitäten des Körpers völlig; durch das Reiben u. dgl. wird das Gleichgewicht gestört. Immer treten hierbei die gegen einander wirkenden Körper in den entgegengesetzten el. Zustand. Es sind dann drei Fälle möglich. Wird z. B. eine Glaskugel durch Reiben mit einem angemessenen Reibzeuge +, dieses — el., so kann dieses entweder daher rühren, dafs das Glas + E. aus dem Reibzeuge, oder dieses — E. aus dem Glase anzieht, oder beide Processe gleichzeitig statt finden. (Auf einen etwa hierbei wirksamen chemischen Procefs durch die Concurrenz der Luft und die Herkunft der E. aus dieser, nehmen wir hier keine weitere Rücksicht, werden aber weiter unten die Grundlosigkeit einer solchen Annahme nachweisen). Auf welche Weise nun auch das Reibzeug — el. geworden ist, so wird dieser Procefs sehr bald eine gewisse Grenze haben, weil jeder Körper seiner Natur nach nur ein endlicher Quell von E. seyn kann. Das Reibzeug wird also nur bis auf einen gewissen Punct — E. annehmen, und nur indem seine — E. durch eine leitende Verbindung mit dem Erdboden neue + E. anzieht, wird der Procefs fortdauernd erhalten werden können, wenn nicht etwa die Körper während des Vorgangs selbst ihre Natur verändern. Fand im obigen Falle ein Uebergang von + E. des Reibzeugs zum Glase statt, so wird dasselbe dadurch von neuem befähigt, + E. abzugeben, fand dagegen ein Uebergang der — E. vom Glase an das Reibzeug statt, so wird dieses aus dem neugebildeten 0 abermals + E. anziehen und an das Reibzeug — E. absetzen können.

Hat ein Körper mehr + als — E., so zieht seine freie + E. innerhalb seines Wirkungskreises alle — E. an, und stöfst alle

+ E. zurück, desto stärker, je näher sie ihm kommt. Bringt man also in diesen Wirkungskreis einen isolirten Leiter, so wird dessen — E. an den näheren Theil gezogen, und gebunden, die + E. hingegen in den entfernteren Theil zurückgestofsen und frei, weil sie von der — E., von der sie vorher gebunden war, verlassen ist, und von dem Uebergewichte der Repulsivkraft der + E. zurückgestofsen wird. Diese freie + E. würde herausgehen, oder sich mit — E. sättigen, wenn ihr nicht durch Isolirung der Weg zu beidem abgeschnitten wäre. Wird aber eine leitende Verbindung mit dem Erdboden gemacht, so zieht die + E. soviel — E. an, als erforderlich ist, um wieder 0 zu werden, der Leiter zeigt weiter keine el. Erscheinungen. Hebt man die Verbindung wieder auf, und entfernt ihn aus dem Wirkungskreise der + E., so wird die vorher gebunden gewesene — E. frei oder sensibel, da sie die + E., durch die sie vorher gebunden war, nicht mehr als + E. sondern als 0 vorfindet.

Hat ein Körper mehr — E. als + E., so zieht seine freie — E. alle + E. in seinem Wirkungskreise an, und stöfst alle — E. zurück. Bringt man also einen isolirten Leiter gegen ihn, so erfolgt alles, wie vorher gezeigt ist, nur mit Verwechselung der Zeichen + und —. Man sieht hieraus, dafs das *Gesetz der Wirkungskreise* nichts anderes ist, als das *Gesetz der Anziehung ungleichnamiger und der Zurückstofsung gleichnamiger Elektricitäten*, und dafs diejenigen, welche zwei el. Materien annehmen, die durch wechselseitige Anziehung auf einander wirken, und das 0 oder den natürlichen Zustand als den Zustand des Gleichgewichts beider Elektricitäten mit einander betrachten, eine ganz falsche Ansicht zum Grunde legen, wenn sie in ihre Erklärungen noch eine besondere Anziehung der Körper selbst zur E. aufnehmen. Von einer solchen Anziehung zeigt sich wenigstens in den gewöhnlichen el. Versuchen durchaus keine Spur, da die elektrisirten Körper in Beziehung auf andere, und diese wieder wechselseitig auf jene sich ganz gleichförmig verhalten, von welcher Beschaffenheit sie übrigens seyn mögen, auch die Masse der Körper hierbei nicht im geringsten in Betracht kommt, aufser insoferne sie als Widerstand gegen die wirkliche Bewegung durch Trägheit und Schwere die Erscheinungen modificirt. Selbst das verschiedene Leitungsvermögen der Körper für E. ändert unmittelbar nichts in der freien Wirksamkeit der an ihnen thä-

tigen E., soferne diese auf das 0, auf + oder — E. anderer Körper wirkt.

Wie in Folge der Anziehung, welche die freie E. auf ihren Gegensatz ausübt, jene selbst wieder gebunden wird, wie bei der freien Communication eines Leiters, auf welchen ein elektrisirter Körper wirkt, mit dem Erdboden jene Bindung zunimmt, wie in Folge dieser Bindung die Capacität der Körper für E. und die Tenacität, womit sie eine gegebene Menge von E. zurückhalten, erhöht wird, ist bereits an mehreren Orten, sowohl in diesem Artikel, als in dem Artikel *Condensator* in seinem nothwendigen Zusammenhange mit dem allgemeinen Gesetze der Anziehung und Zurückstofsung hinlänglich klar gemacht worden.

Nach welchen Gesetzen die Annäherung eines noch in seinem natürlichen Zustande befindlichen, mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden, Körpers, auf die Bindung der freien E. eines elektrisirten Körpers wirke, steht mit der Frage, wie die Wirksamkeit der E. mit der Entfernung, auf welche sie wirkt, abnehme, in der genauesten Verbindung, oder fällt vielmehr ganz damit zusammen. Hat man das Gesetz für die Abnahme der repulsiven Kraft der E. im Verhältnisse der Entfernung bestimmt, so ist auch das gleiche Gesetz für ihre anziehende Kraft ausgemittelt, da beide stets gleichen Schritt mit einander halten. Soferne auf dieser Besitmmung die ganze *Elektrometrie* beruht, so wird es am passendsten seyn, dieses Gesetz dort genauer zu erörtern.

Indem die wechselseitige Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten mit der wechselseitigen Annäherung zunimmt, tritt endlich eine gewisse Weite ein, wo sie stark genug wird, das isolirende Mittel, das beide aus einander hält, z. B. die Luft, zu durchbrechen, und einen wirklichen Uebergang der E. zu veranlassen. Alsdann erfolgt wirkliche *Mittheilung*, wobei der ursprünglich elektrisirte Körper, von welchem der Procefs ausging, stets einen Theil seiner ± E. an den andern abgiebt.

Die Weite, bei welcher dieser Uebergang geschieht, ist bei Spitzen sehr grofs, bei stumpfen oder rund geendeten Körpern kleiner, bei platten Flächen erfolgt oft, selbst im Falle der Berührung, kein Uebergang, wenn auch selbst die eine Fläche dem besten Leiter zugehört. Auch erfolgt bei Spitzen

der Uebergang durch Ausströmen, bei stumpf geendeten Körpern hingegen durch den Ausbruch eines Funkens. Dieser merkwürdige Unterschied des Verhaltens der Körper nach Verschiedenheit der Gestalt ihrer Oberfläche, ihre E. leichter oder schwieriger abzugeben, hängt im Allgemeinen von der Verschiedenheit ab, mit welcher die an der Oberfläche dieser verschiedenen Leiter verbreiteten Elektricitäten in den verschiedenen Puncten derselben durch ihre repulsiven Kräfte auf einander wirken, und durch welche sie sich in dem Uebergange zu den in ihren Wirkungskreisen befindlichen Körpern entweder begünstigen, und für einzelne Puncte eine erhöhte Anhäufung, Drang oder Spannung der E. veranlassen, wodurch der Widerstand der Luft, der eigentlich das Haupthindernifs ausmacht, leichter überwunden werden kann, oder aber im entgegengesetzten Sinne wirken [1].

Wenn glatte Flächen, deren eine + E., die andere gleichviel — E. hat, in Berührung kommen, ohne dafs ein Uebergang erfolgt, so zeigen sie in diesem Falle gar keine freie E. Trennt man sie aber wieder von einander, so erhalten sie ihre vorigen Elektricitäten wieder. Der Pater Beccaria [2] glaubte, sie legten ihre Elektricitäten an einander ab, und bei der Trennung ergriffe jede Fläche die ihrige wieder. Er gab diesem Gesetze den Namen: der sich selbst wieder herstellenden E. (electricitas vindex, quasi quae sibi vindicat locum suum.) Man hat aber dieses Phänomens wegen nicht nöthig, ein neues Gesetz anzunehmen. Dieses Verschwinden der Elektricitäten ist kein Verlust derselben, kein Ablegen und Wiederergreifen. Es ist nichts weiter als das gewöhnliche Binden entgegengesetzter Elektricitäten, wenn eine in der andern Wirkungskreis kommt, wodurch ihre Intensität geschwächt, und in der unmittelbaren Berührung bei Gleichheit derselben vollkommen aufgehoben wird. Nach der Trennung wird alles wieder sensibel, weil kein Uebergang erfolgt ist. Das Nichterfolgen des Ueberganges hat in den meisten Fällen seinen Grund in der dünnen Luftschicht, die nicht ganz ausgeschlossen werden kann, und unter den aus der Glätte und dem Parallelismus der Oberflächen

---

1 S. *Spitzen*.

2 Elettricismo artificiale P. II Sect. VI. vergl Exp. atque observ. quibus electricitas Vindex late construitur. Aug. Taur. 1769. 4.

beider Körper für den Uebergang überhaupt entstehenden ungünstigen Umständen bei schwächerer E. einen hinlänglichen Widerstand leistet, weswegen dann auch die wechselseitige Bindung keine vollkommene ist, aber der Rest von freier Spannung kann wegen der noch nicht hinlänglich grofsen Empfindlichkeit unserer Elektroskope nicht erkannt werden.

Die Wirkungen der el. Anziehung und Zurückstofsung oder der el. Atmosphären werden durch *dünne solide Nichtleiter nicht aufgehoben,* wohl aber die Wirkungen der Mittheilung. Wenn daher eine Glastafel auf beiden Seiten mit Metall belegt, die eine Belegung mit der Erde verbunden, und der andern + E. zugeführt wird, so nimmt jene verhältnifsmäfsige — E. aus der Erde an oder giebt + E. an dieselbe ab. Hieraus erklärt sich die *Ladung* [1]. Macht man alsdann zwischen beiden Seiten eine leitende Verbindung, so erfolgt ein Uebergang, der das Gleichgewicht herstellt. Dies ist die Entladung oder der *Leidner Versuch.*

VII. Geschichte der Elektricität.

Die Anziehung leichter Körper ist unter allen übrigen el. Erscheinungen zuerst bemerkt worden. Thales [2] soll sie gekannt, und dem Körper, in welchem dasselbe zuerst erkannt wurde, eine Seele zugeschrieben haben. Theophrast von Eresus [3], 300 J. vor C. G. führt an, dafs nicht blofs der Bernstein, sondern auch der Lynkurer (λυγκούριον) diese Eigenschaft besitze, und dafs letzterer nicht blofs Strohhalme und Holzspähne, sondern auch Metallblättchen an sich reifse. Watson hat den Lynkurer des Theophrat für den Turmalin erklärt, aber mit Unrecht; da die Alten und namentlich Theophrast unter ihrem Lynkurer unsern Hyancith verstanden [4]. Auch Plinius [5] Strabo [6] und Plutarch [7] gedenken dieser anzie-

---

1 S. *Flasche, geladene.*

2 S. den Anfang dieses Artikels.

3 *περὶ λίθων* c. 53.

4 S. Hills Commentar über Theophrast's Abhandlung von Steinen. Aus dem Englischen übersetzt und mit Anmerkungen von Baumgärtner, Nürnberg 1770.

5 Hist. Nat. XXXVII. 3.

6 Geograph. L. XV. T. II. c. 100.

7 Sympos. I. 7.

henden Eigenschaft des Bernsteins. Nach einigen sollen auch die el. Eigenschaften des Gagats sehr frühe bekannt geworden seyn. WILLIAM GILBERT [1] war der erste der seit den Zeiten der Alten etwas Neues hinzufügte. Er vermehrte das Verzeichniſs der Körper, welche el. Erscheinungen zeigen, sehr ansehnlich, brachte vornehmlich das Glas, die meisten Edelsteine, den Schwefel und das Siegellack zu denselben, und zeigte das Reiben als das Mittel an, ihre E. zu erregen. Für ihn fielen indeſs die el. Anziehungserscheinungen mit den magnetischen noch in eine Classe zusammen, und es ist charakteristisch, auch für diesen Theil der Geschichte der Wissenschaften, daſs dieselbe Einheit auf ihrer höhern Entwicklungsstufe wieder zurückkehrt, die die Periode ihrer Kindheit bezeichnet. OTTO VON GUERICKE [2] stellte Versuche mit einer geriebenen Schwefelkugel an. Er bemerkte, daſs ein von ihr angezogener Körper wieder zurückgestoſsen, und nicht eher wieder angezogen ward, als bis er sich einem leinenen Faden oder der Lichtflamme (einem Leiter) genähert hatte, daſs Fäden, die in der Nähe der Schwefel-Kugel hingen von seinem nahe daran gehaltenen Finger zurückgestoſsen wurden, und daſs eine von der Kugel zurückgestoſsene Flaumfeder der Kugel beständig einerlei Seite zukehrte; Erscheinungen, welche nachher auf die Gesetze des Anziehens und der Wirkungskreise geführt haben. Er bemerkte auch das el. Licht und das Geräusch desselben. BOYLE vermehrte um das Jahr 1670 das Verzeichniſs der el. Körper mit einigen neuen, fand, daſs Trockenheit und Wärme der E. günstig seyen, daſs auch leichte el. Körper z. B. Bernsteinpulver angezogen würden, daſs das Anziehen wechselseitig sey, daſs der geriebene Diamant im Finstern leuchte, und daſs man auch im luftleeren Raume E. erwecken könne. Er erklärte übrigens die el. Erscheinungen durch klebrige Ausflüsse. Auch NEWTON [3] machte einige el. Vesuche. Er rieb eine Glasplatte, die auf einem messingenen Ringe auf dem Tische ruhete, ohne den Tisch zu berühren, auf ihrer oberen Fläche, und sah darunter liegende Papierchen gegen die untere Seite hüpfen. Dieſs ist wohl das erste Beispiel von einer Ladung. Er ward auch gewahr, daſs die Wahl des Reib-

1 de Magnete London 1600. fol.

2 Experim. Magdeburg. de vacuo spatio, Amsterd. 1672 fol. L. IV. c. 15.

3 Philos. Transact, 1675.

zeugs nicht gleichgültig sey, weil der Versuch besser gelang, wenn er mit seinem Rocke (Wollenzeug) als wenn er mit einer Serviette rieb. Er erwähnt auch der E. in seinen, der Optik beigefügten Fragen. Dr. Wall[1] bemerkte zuerst el. Funken. Er hatte eine Hypothese über den Phosphor, die ihn auf die Vermuthung leitete, dafs Bernstein ein natürlicher Phosphor seyn dürfte. Er rieb also Bernstein mit der Hand oder mit wollenen Lappen, sah dabei ein starkes Licht und hörte ein Knistern. Hielt man den Finger gegen den Bernstein, so fuhr ein heller Funken gegen denselben. Er bemerkte auch Licht beim Reiben des Siegellacks und Diamants, und zog daraus den Satz, dafs alle geriebene el. Körper leuchteten. Es ist merkwürdig, dafs er schon bei dieser ersten Entdeckung des Funkens und Knisterns diese Erscheinungen mit dem Blitze und Donner verglichen hat. Dies sind die geringen und langsamen Fortschritte der el. Versuche bis zum Jahre 1709. In diesem Jahre machte Hawksbee[2] seine Versuche und Entdkkungen bekannt. Er machte zuerst aufmerksam auf die grofse el. Kraft des Glases, welchem man seitdem den Vorzug vor allen übrigen el. Körpern beigelegt hat. Er beobachtete die Erscheinungen des el. Lichtes, besonders im luftleeren Raume, genauer, erfand die Quecksilberphosphore, bemerkte das Geräusch des el. Ausströmens, und das Gefühl von Spinnewebe, das sich bei starker E. äufsert, stellte auch Versuche mit Siegellack, Schwefel, und Harzkuchen an, ob er gleich darin irrte, dafs er die E. derselben mit der des Glases für einerlei hielt. Er hat sich auch zuerst einer Maschine zur Umdrehung der Glaskugel bedient, obwohl nach ihm noch einige Zeit nur Röhren gebraucht, und die Elektrisirmaschinen erst später eingeführt worden sind.

Zu jener Zeit beschäftigten Newton's grofse Entdeckungen die Physiker mit andern Gegenständen, und veranlafsten in den el. Untersuchungen einen zwanzigjährigen Stillstand, bis Stephan Gray vom Jahr 1728 bis 1731 dieselben auf's Neue mit wichtigen Zusätzen bereicherte. Dieser um die Lehre von der E. sehr verdiente Engländer entdeckte die Mittheilung, fand dafs hänfene Schnüre sie zuliefsen, seidene oder härene aber

---

1 Philos. Transact. 1708. Vol. XXVI, No. 314.

2 Physico - mechanical experiments. London 4.

hidenrten, und wurde durch einen Zufall auf die Entdeckung des für die Ausbildung der Elektricitätslehre so wichtigen Unterschiedes zwischen Leitern und Zerstreuern der E. und Nichtleitern oder Isolatoren geführt. Als Gray nämlich im Jahre 1729 seinem Freunde Wheeler, seinem Gehülfen bei den meisten seiner Versuche, die Entdeckung mittheilte, wie durch hänfene Schnüre, welche an die Glasröhren befestigt waren, beim Reiben derselben dis E. an elfenbeinernen Kugeln, die an diesen Schnüren hingen, selbst bei grofser Länge derselben, wenn sie frei durch die Luft herabhingen, mitgetheilt werden könne, war Wheeler begierig, zu untersuchen, ob nicht etwa die el. Kraft auf eine grofse Distanz auch horizontal fortgeleitet werden könne. Gray hatte diesen Versuch bereits vergeblich angestellt, weil er sich zur Unterstützung der Schnur, welche die elfenbeinerne Kugel mit der geriebenen Glasröhre in Verbindung setzte, eines Bindfadens bedient hatte. Wheeler schlug einen seidenem Faden vor, von dem auch Gray in Ansehung seiner Dünne einen bessern Erfolg erwartete. Der Versuch gelang auch über alle Erwartung. Er wurde den 2ten Juli 1729 angestellt. Ohngefähr 4 Fufs von dem Ende der mit Matten belegten Gallerie zogen sie eine Schnur quer über den Platz hinweg, der mittlere Theil der Schnur war Seide, das übrige Bindfaden, dann legten sie die Schnur, woran die elfenbeinerne Kugel hing, und durch welche die el. Kraft zu derselben von der Glasröhre geleitet werden sollte, und welche 80½ Fufs lang war, quer über die seidene Schnur, so dafs die Kugel ungefähr 9 Fufs unter derselben hing. Beim Reiben der Glasröhre zog nun die elfenbeinerne Kugel leichte Körperchen aus der Ferne an. Indem sie die Versuche in Rücksicht auf Verlängerung der die E. mittheilenden Schnur noch weiter treiben wollten, brach der feine seidene Faden. Sie substituirten ihm nun einen nicht weniger dünnen Messingdraht. Aber nun blieb aller Erfolg aus. Sie hatten damit die Ueberzeugung gewonnen, dafs es nicht von der Dünne abhänge, warum der seidene Faden die E. nicht wie der dickere Bindfaden zerstreut habe, da der Metalldraht trotz seiner Feinheit dies noch in höherem Grade that, als selbst der dickere Bindfaden, sondern dafs hierbei die eigenthümliche Natur der Körper in Betracht komme. Wir haben absichtlich diesen Versuch umständlicher erzählt, weil er einen neuen Beleg giebt, wie so oft an wich-

tigen Entdeckungen ein glücklicher Zufall einen wesentlichen Antheil hat, wie er aber auch diesen Antheil nur dadurch erhält, dafs der Scharfsinn des Experimentators ihn zu benutzen und mit seinen Forschungen zu verknüpfen weifs. Gray machte auch die ersten Versuche, Wasser, ingleichen Menschen und Thiere durch Mittheilung zu elektrisiren. Da er hierbei die Personen in seidene Schnüre hing, und sah, dafs sie den Metallen ziemlich starke Funken gaben, so kam er darauf, metallene Cylinder in seidene Schnüre zu hängen, und die Funken von Personen herausziehen zu lassen, welches der erste Ursprung des Hauptleiters oder ersten Leiters bei den Elektrisirmaschinen gewesen ist. Er bemerkte zuerst das freiwillige Ausströmen der Feuerbüschel aus leitenden Spitzen, wenn ihnen die flache Hand genähert ward, ingleichen, dafs selbst aus dem Wasser Funken hervorbrachen.

Dieser Versuch brachte auch bei ihm im Jahre 1734 den Gedanken hervor, dafs „*die el. Kraft*, si magnis licet comparare parva, *mit der Natur des Donners und Blitzes von gleicher Natur zu seyn scheine.*“ Bei einem ähnlichen Versuche im folgenden Jahre hat er, wie Beckmann [1] bemerkt, schon die el. Erschütterung gefühlt, ohne jedoch weiter darüber nachzudenken.

Grays Versuche wurden in Frankreich von Dū Fay [2] sorgfältig wiederholt, und mit neuen vermehrt. Dieser Naturforscher trieb die Wirkungen der Mittheilung viel weiter, und bestimmte sie genauer. Er zog noch eher als Gray selbst, Funken aus dem menschlichen Körper, da jener damals erst so weit genommen war, Metallblättchen durch denselben anziehen zu lassen. Nollet, welcher bei diesen Versuchen gegenwärtig war, kann die Bestürzung nicht stark genug schildern, die sowohl ihm als Dū Fay bei den ersten el. Funken, die aus dem Körper dieses Letzteren gezogen wurden, ergriff [3]. Dū Fay entdeckte, was unstreitig einer der gröfsten Schritte in der Elektricitätslehre war, den Unterschied zwischen den beiden Elektricitäten, die er Glas- und Harz-E. nannte, nebst dem Gesetze ihrer wechselseitigen Anziehung, irrte aber darin, dafs

---

1 Geschichte der Erfindungen I. Band. Leipzig 1783. 8.
2 Mémoires de Paris 1733—37.
3 Leçons de physique, Tome VI. p. 408.

er sie nicht für entgegengesetzt, sondern nur für verschieden hielt. Dr. DESAGULIER [1] dessen Dissertation sur l'électricité des Corps im Jahre 1742 bei der Akademie zu Bourdeaux den Preis erhielt, brachte die bisher angestellten Versuche auf allgemeine Gesetze, und führte zuerst den Namen, „an sich el. Körper" und Leiter ein.

Um diese Zeit fingen die deutschen Gelehrten an, sich durch wichtige Entdeckungen in diesem Fache auszuzeichnen. HAUSEN in Leipzig machte hierzu den Anfang, und führte statt der bisher gewöhnlichen Glasröhren, die durch eine Maschine umgedrehte Kugel ein. BOSE in Wittenberg, WINKLER in Leipzig und der P. GORDON in Erfurt gelangten auf diesem Wege zu sehr verstärkten Graden der E. und zu vielen neuen Erfindungen. Dr. LUDOLF in Berlin entzündete zuerst im Jahre 1744 Vitrioläther durch den el. Funken, WINKLER erwärmten Branntwein durch den Funken aus seinem Finger, GRALATH in Danzig den Rauch eines eben erloschenen Lichtes, und BOSE den Dampf von schmelzendem Schieſspulver. Der jüngere LUDOLF in Berlin bewies, daſs das Leuchten der Barometer in der That el. sey, GRUMMERT bemerkte das Leuchten luftleerer Glasröhren in ziemlicher Entfernung von der in Bewegung gesetzten Elektrisirmaschine, KRÜGER die Veränderung der Farbe der Blumen durch el. Ausströmen und WAITZ [2] machte einen schönen Versuch, die el. Erscheinungen zu ordnen, und auf allgemeine Gesetze zu bringen. MILIS in England bemerkte 1745 zuerst die freiwillig ausströmenden Feuerbüschel aus der geriebenen Glasröhre selbst, und Dr. WATSON, durch dessen Briefwechsel mit den Deutschen die Entdeckungen derselben nach England kamen, wiederholte ihre Versuche, entzündete brennbare Geister, wenn sie von einer isolirten elektrisirten Person gehalten wurden, und eine nicht elektrisirte Person den Funken dagegen brachte, und entdeckte, daſs Rauch und Flamme Leiter sind.

Durch so viele neue und zum Theil belustigende Versuche war schon eine allgemeinere Aufmerksamkeit auf die E. erregt, als am Ende des Jahres 1745 der KLEIST'sche Versuch oder die Leidner Flasche bekannt wurde, deren unerwartete und hef-

1 Philos. Trans. 1739 — 1742.

2 Abhandl. von der E. und deren Ursachen. Berlin. 1745. 4.

tige Wirkungen jedermann in Erstaunen setzten [1]. Diese grofse Wirkung der E. machte das Studium derselben allgemein, und führte zu den Wohnungen der Experimentatoren eine Menge von neugierigen Zuschauern. Seit dieser Zeit ist die Anzahl von Kennern und Liebhabern der E., und der Versuche und Beobachtungen über dieselbe mit jedem Tage gewachsen, so dafs es die Grenzen des Artikels weit überschreiten würde, wenn die vielen Entdeckungen einzeln aufgezählt werden sollten und wir uns daher nur auf die wichtigsten Momente einschränken können. Dr. Watson entdeckte bald hernach, dafs beim Isoliren des Reibzeugs der Elektrisirmaschine nur schwache E. zum Vorschein komme, und schlofs, dafs das Reiben nicht E. erzeuge, sondern nur überführe. Der Abt Nollet beobachtete um diese Zeit, dafs Körper im el. Wirkungskreise ebenfalls el. Erscheinungen zeigten, ohne jedoch zu bemerken, dafs ihre E. die entgegengesetzte von jener sey, wie er denn überhaupt die Verschiedenheit der + E und — E fast ganz übersehen hat. Von ihm rühren auch die ersten Versuche über den Einflufs der mitgetheilten E. auf den Umlauf des Bluts im thierischen Körper, auf die Ausdünstung und das Durchströmen des Wassers durch Haarröhrchen her.

Keiner der damaligen Naturforscher aber verfolgte diese Untersuchungen mit so vielem Scharfsinne und philosophischen Geiste, als Dr. Franklin in Philadelphia. Ihm gelang es, die mannigfaltigen, damals schon bekannten Wirkungen der E., vorzüglich aber den vorher unerklärbaren Leidner Versuch auf eine Theorie zurückzuführen, die mit allgemeinem Beifall aufgenommen ward, und, wenn sie auch gegenwärtig ihr ehemaliges Ansehen nicht mehr behauptet, dennoch auch jetzt noch der sorgfältigsten Prüfung werth ist, und stets als ein Denkmal einer seltenen geistigen Verknüpfungsgabe in ihrem Erfinder anerkannt werden wird. Was aber für das menschliche Geschlecht von wichtigeren Folgen geworden ist, es gelang Franklin aus seinen Erfahrungen die Erklärung des Blitzes und die wohlthätige Erfindung der Blitzableiter zu ziehen, die ihm in der Geschichte der Physik einen unsterblichen Ruhm sichert. Seine hierher gehörigen Entdeckungen und Bemühungen sind bereits unter dem Artikel: *Blitz*, *Blitzableiter*, *Dra-*

---

1 Vergl. *Flasche.*

che, *elektrischer*, näher gewürdigt worden. Von seiner Theorie der E. wird weiter unten ausführlicher die Rede seyn.

Unter Franklin's Behauptungen gehört auch die von der Undurchdringlichkeit des Glases für die von ihm angenommene el. Materie. Sein Freund Kinnersley in Boston fand, daſs die Glas- und Harzelektricität des du Fay mit Franklin's positiver und negativer E. übereinkomme. Gewisse, jedoch zweideutige Phänomene bestimmten Franklin die Glaselektricität für die positive oder den relativen Ueberfluſs, die Harzelektricität für die negative oder den relativen Mangel zu erklären. Übrigens fallen diese wichtigen Entdeckungen der nordamerikanischen Naturforscher in die Jahre 1747 bis 1754 [1]. Canton in England und Beccaria in Italien entdeckten um eben diese Zeit, daſs sich die E. der Luft mittheilen lasse. Der erstere fand auch, daſs ihr das Wasser einigen Widerstand leiste, und zeigte den el. Funken unter Wasser, welche Versuche lehrten, daſs es weder vollkommen oder absolut el. Körper noch vollkommene Leiter gäbe, soferne namentlich das Wasser früher als ein solcher angesehen worden war. Canton zeigte auch im Jahre 1753, daſs es bloſs von der Glätte der Oberfläche und vom Reibzeuge abhänge, das Glas und andere el. Körper entweder positiv oder negativ zu elektrisiren, welche Versuche nachher von Beccaria, Wilson, Bergmann, Wilke, Aepinus u. a. [2] noch weiter getrieben wurden.

Eine der gröſsten Entdeckungen dieser Zeit ist die von den el. Wirkungskreisen. Canton machte seine Versuche hierüber im Jahre 1753 zuerst bekannt, welche nach Priestley's Ausdrucke einer Zauberei ähnlich sehen; Franklin setzte dieselben fort, behielt aber immer noch die gemeine Meinung bei, daſs die Wirkungskreise aus el. Materie beständen, und gleichartige E. mittheilten; daher es ihm unmöglich war, die Phänomene ungezwungen zu erklären. Wilke löste endlich das Räthsel auf und gab zuerst [3] das wahre Gesetz der Wirkungskreise an, welches Aepinus durch neue Versuche noch mehr

1 Franklin's new exper. and observ. on electricity in several letters to Mr. Collinson. London 1717. 4. Benj. Franklin's Briefe von der E. übers. von J. C. Wilke, Leipzig 1758.

2 S. oben die hierher gehörige Literatur.

3 De electricitatibus contrariis. Rostockii 1757. 4.

bestätigte. Beide befanden sich damals in Berlin, setzten diese Untersuchungen gemeinschaftlich fort, erklärten die Ladung der Flaschen u. s. w. noch deutlicher, erfanden die Ladung einer Luftschicht oder den unter dem Artikel „Blitz" angeführten Versuch mit zwei Metallplatten, und legten den Grund zu den neuern Erweiterungen der Lehre von der E. und besonders von der Vertheilung derselben, welche mehrentheils nur auf deutlichere Entwickelung der in ihren Schriften schon enthaltenen Erfindungen hinauslaufen [1]. Robert Symmer's sehr merkwürdige Versuche über die E. geriebener seidener Bänder und Strümpfe vom Jahre 1759, welche Cigna weiter fortgesetzt hat, leiteten auf die Vermuthung zweier el. Materien, die den Forschungen in der Elektricitätslehre gleichsam eine neue Richtung gab, und besonders viele Versuche veranlafste, um der einen oder andern Einsicht, in welche sich von nun an die Physiker theilten, derjenigen der Unitarier oder Dualisten der Franklin'schen oder Symmer'schen Theorie den Sieg zu verschaffen, durch welche Versuche die Elektricitätslehre mannigfaltig bereichert worden ist.

Volta, den man den zweiten Franklin in der Elektricitätslehre nennen kann, und der ein treuer Anhänger des Systems seines grofsen Vorgängers auf dieser Bahn blieb, erwarb sich besonders grofse Verdienste durch die sinnreiche Anwendung der Lehre von den el. Wirkungskreisen, welche er ganz im Franklin'schen Geiste gegen das durch Beccaria eingeführte neue Gesetz der sich selbst wiederherstellenden E. erklärte, und dieser Anwendung verdankte die Elektricitätslehre die Bereicherung mit zwei sehr interessanten Instrumenten, dem Elektrophor im Jahre 1775 und dem Condensator im Jahre 1783. Indefs fehlte es noch immer an genauen messenden Versuchen, welche es allein möglich machen, die Gesetze einer physischen Kraft mit mathematischer Strenge zu entwickeln. Diese Versuche und eine Reihe höchst wichtiger Folgerungen daraus verdankt diese Lehre vorzüglich dem in mikrometrischen Versuchen wahrhaft grofsen französischen Naturforscher Coulomb der uns dadurch in Stand setzte, die el. Erscheinungen, soferne sie zunächst nur als Wirkungen repulsiver und anziehender Kräfte, die überall nach Gleichgewicht streben, und deren

---

1 S. *Wirkungskreise, el.*

Wirksamkeit in einem bestimmten Verhältnisse der Distanzen abnimmt, in Betracht gezogen werden, dem feinsten mathematischen Calcüle zu unterwerfen, welches seitdem von einzelnen Physikern, namentlich von Biot und Poisson mit glücklichem Erfolge geschehen ist [1]. Bei den grofsen Fortschritten, welchen die Chemie in diesem Zeitpuncte machte, konnte es nicht fehlen, dafs die E., die in dem chemischen Processe selbst eine so grofse Rolle spielt, von einer neuen Seite das Studium und den Forschungsgeist der Physiker auf sich ziehen mufste, nämlich von der Seite ihres innern Wesens, welches durch Betrachtung eben dieser Kraft als blofser Ursache von Bewegungen (Anziehungen und Zurückstofsungen) lange nicht erschöpft werden konnte, und auf welchem ihre specifischen oder qualitativen Beziehungen in der Natur beruhen. Van Marum hatte bereits durch Hülfe der grofsen Teyler'schen Elektrisirmaschine und seiner grofsen Batterieen eine grofse Reihe von Versuchen angestellt, durch welche ein helleres Licht über die chemischen Wirkungen der E. verbreitet wurde [2]; doch wird eigentlich erst durch die gröfste Entdeckung neuerer Zeiten auf dem Gebiete der Physik, durch die Entdeckung des *Galvanismus*, und insbesondere durch den grofsen Schritt, welchen Volta am Ende des Jahres 1799 in dieser Lehre machte [3], in dieser Hinsicht die Bahn gebrochen. Die chemischen Verhältnisse der E. beschäftigten von nun an am meisten die Physiker; mit ihrer tiefern Kenntnifs gestaltete sich eine ganz neue chemische Theorie, die sogenannte Elektrochemie, für welche von H. Davy die wichtigsten Entdeckungen gemacht, und die vorzüglich von J. Berzelius und von Schweigger unter dem Namen der *Krystallelektricität* ausgebildet wurde. Zu allen diesen wichtigen Untersuchungen und Entdeckungen kam noch als folgenreich die glänzende Entdeckung Oersted's in Kopenhagen über die Erregung des Magnetismus durch den galvanisch el. Strom im Jahre 1820 hinzu, wodurch die E. immer mehr

---

1 S. des ersteren Traité de Physique mathématique et experimentale Tome II. Livre III. De l'Electricité p. 209 ff.

2 vorzüglich in dem Eerste Vervolg Proefneemingen gedaan met Teylers Electrizeermachine. Haarlem 1787. 4. deutsch. Leipzig 1788 4. und im Tweede Vervolg etc. Haarlem 1795. 4.

3 S. *Galvanismus*.

als die geheime Triebfeder der Processe erschien, durch welche die steten Metamorphosen in der Natur unterhalten werden.

So ausgedehnt nach dieser kurzen historischen Darstellung das Gebiet unserer Erfahrungen und Kenntnisse in der Elektricitätslehre erscheinen mag, so müssen wir doch gestehen, dafs wir noch lange nicht tief genug in das Innere dieser Kraft eingedrungen sind, wie am deutlichsten die gleich folgende Aufzählung der mannigfaltigen Hypothesen über die Natur der E. darthun wird, von denen zwar die meisten veraltet sind, aber doch noch mehrere wesentlich von einander abweichend sich einander gegenüber stehen, ohne dafs irgend eine derselben bis jetzt die hierbei vorkommenden Probleme genügend zu lösen im Stande wäre. Man kann auch hier anwenden, was für andere Sphären der Wissenschaft gilt, dafs die Wurzel um so tiefer geht, und um so verborgener wird, je mehr sich der Stamm einer Wissenschaft in Aesten und Zweigen ausbreitet [1].

VIII. Hypothesen über die Ursache der Elektricität oder Theorien dieser Erscheinungen.

Die ersten Experimentatoren, welche noch keine andere el. Erscheinungen, als das Anziehen und Zurückstofsen kannten, erklärten dasselbe durch ölichte oder klebrige Ausflüsse, welche aus den geriebenen Körpern ausgehen und in dieselben wieder zurückkehren sollten. Sie glaubten, diese Ausflüsse hingen sich an alle Körper, und rissen die leichten und beweglichen mit sich fort, die, wenn sie den geriebenen Körper berührt hätten, durch neue Ausflüsse zurückgestofsen würden. Diese Meinung hat Gilbert und Kenelm Digby [2]. Auch Boyle hat sie angenommen. Dafs man sich diese Ausflüsse um den Körper herum in Gestalt eines Dunstkreises versammelt dachte, hat unstreitig zu der Benennung der el. Atmosphäre Anlafs gegeben. Newton scheint die E. als eine Art der Anziehung betrachtet zu haben, die auf eine ähnliche Art, wie die Schwere bewirkt werde. Wenigstens stellt er in seinen der Optik beige-

---

1 Rücksichtlich der neuen Entdeckungen s. d. Artikel: *Elektrisirmaschine; Elektrometer; Galvanismus; Flasche, geladene; Krystall-Elektricität; Luft-Elektricität; Säule, Voltaische.*

2 Demonstratio immortalitatis animae 1664. 8. T. I. cap. 16.

fügten Fragen mehrmals *Attractiones gravitatis, virtutesque magneticae et electricae* zusammen. Das heifst bei ihm zwar nichts weiter, als dafs er die Schwere sowohl als die el. Kraft wie blofse Phänomene betrachte und die Ursache von beiden nicht wisse. Aber seine Schüler glaubten das Phänomen erklärt zu haben, wenn sie es von einer den Körpern wesentlichen besondern Art der Anziehung und Zurückstofsung herleiteten. Dü Fay erklärte das Anziehen und Zurückstofsen aus gewissen, die el. Körper umringenden Wirbeln, dergleichen schon Cabens [1] angenommen hatte. Allein obgleich Dü Fay die beiden von ihm entdeckten Elektricitäten für zwei verschiedene annimmt, die sich unter einander selbst anziehen, so erklärt er sich doch nirgends darüber, wie er sich den Unterschied zwischen den Wirbeln derselben und die Ursache ihrer Anziehung vorstelle. Die Erscheinungen des ausströmenden Lichts, das Blasen, das man dabei fühlt, des el. Funkens und des phosphorischen Geruchs, fingen an die Physiker auf die Vermuthung einer eigenen el. Materie zu führen, welche einige für einen ganz eigenen Grundstoff, andere für das Elementarfeuer, noch andere für den Aether oder die Materie des Lichts, manche auch wie Boulanger [2] für die feineren Theile der Atmosphäre ansahen, welche sich beim Reiben nach Wegnahme der gröberen Theile auf den Oberflächen der Körper anhäuften. Man glaubte, diese Materie habe ihren Sitz vorzüglich in den elektrischen Körpern, werde durch das Reiben losgemacht und in Thätigkeit gesetzt, und fahre aus den geriebenen Körpern in die daran gebrachten Leiter über.

Die merkwürdigste der damaligen Theorien ist Nollet's Hypothese der gleichzeitigen *Aus-* und *Zuflüsse.* Effluences et affluences simultanées). Dieser geschickte Experimentator bewiefs zuerst aus den oben angeführten Phänomenen das Daseyn einer el. Materie, die weit feiner als die Luft sey, auch sich nicht in Wirbeln, sondern in geraden Linien bewege, und Atmosphären um elektrisirte Körper bilde. Diese Materie strömt nach seiner Meinung aus dem el. Körper aus, zu gleicher Zeit strömt eben soviel davon aus den benachbarten Körpern, ja selbst aus der an-

1 Philosophia magnetica, Ferrara 1629. Fol.

2 Traité de la cause et des phén. de l'él. Paris 1750. 8.

liegenden Luft in den Körper hinein. Bei starker E. entzünden sich diese Ströme durch den Stofs ihrer Strahlen und werden leuchtend. Die Zwischenräume, aus welchen die Materie ausgeht, sind nicht so zahlreich als die, wodurch sie eingeht. Die ausströmende Materie bildet Büschel von divergirenden Strahlen, welche, wenn sie auch in einiger Distanz nicht mehr sichtbar sind, dennoch immer weiter fortgehen. Diese Materie durchdringt die Leiter sehr leicht, die Nichtleiter schwer oder gar nicht, wenn sie nicht gerieben oder erwärmt werden. Sie ist überall verbreitet, und wahrscheinlich, einerlei mit dem Elementarfeuer, nur dafs sie sich bisweilen mit einigen feineren Theilen der Körper verbindet. Aus diesen Sätzen erklärt Nollet das Anziehen und Zurückstofsen leichter Körper auf folgende Art. Die Ausflüsse geschehen aus wenigen Puncten, und büschelförmig, die Zuflüsse nach allen Puncten. Ein leichter kleiner Körper wird also in einiger Distanz von den zufliefsenden Strömen ergriffen, und stärker fortgeführt, als ihn die durch Divergenz geschwächten Ströme der Ausflüsse wegtreiben. So fliegt er bis an den elektrisirten Körper, wo die ausfliefsenden Büschel näher beisammen sind, und ihn also zurückstofsen. Während dieser Zeit wird er selbst durch Mittheilung elektrisirt, d. h. es entsteht Ausflufs aus seinen eigenen Poren und Einströmen in dieselben. Unter diesen Umständen kann er nicht wieder angezogen werden, weil seine Ausflüsse den Ausflüssen des andern Körpers entgegengesetzt sind. Verliert er aber seine E. durch die Berührung mit andern Körpern, so kehrt er wieder in seinen anfänglichen Zustand zurück, und wird aufs Neue angezogen. Einen augenscheinlichen Beleg zweier solcher Ströme, die sich einander begegnen, schienen besonders die Erscheinungen, die man beim Puppentanze bisweilen beobachtet, zu geben, wo die tanzenden Puppen nur bis zu einer gewissen Nähe gegen die elektrisirte Metallscheibe hinschweben, und dann gleichsam durch den entgegen kommenden Strom wieder zurückgeworfen werden. Indefs findet auch diese Erscheinung ihre genügende Erklärung in dem Umstande, dafs diese Puppen vermöge der Spitzenwirkung schon vor der unmittelbaren Berührung und in merklicher Entferuung in den gleichartigen el. Zustande mit der Scheibe versetzt, und nach dem allgemeinen Gesetze der Repulsion, welche gleichartige Elektricitäten auf einander ausüben, zurückgestofsen werden müssen. Zwischen den beiden ver-

schiedenen Elektricitäten des Glases und des Harzes, scheint Nollet weiter keinen Unterschied anzunehmen, als dafs jene stärker, diese schwächer sey.

Die unerwartete Entdeckung des Leidner Versuchs legte den Physikern der damaligen Zeit ein unerklärbares Räthsel vor. Nollet versuchte seine Hypothes darauf anzuwenden, ohne jedoch gehörige Rücksicht auf die verschiedenen Elektricitäten der beiden Seiten des Glases zu nehmen. So hatte er nicht einmal den richtigen Begriff der Ladung der Flasche, die er überhaupt nur für Ueberfüllung mit el. Materie annahm. Die Erschütterung beim Entladen erklärte er durch das Zusammenstofsen zweier el. Ströme, deren einer aus der innern, der andere aus des äufsern Seite der Flasche komme, die sich im Körper der entladenen Person begegneten, und dadurch die in ihr enthalten el. Materie erschütterten. Ganz wider die Erfahrung nahm er an, man könne auch isolirte Flaschen laden; denn seine Hypothese enthält keinen Grund, warum dieses unmöglich seyn sollte. Eben so leugnet er beim Entladen die Nothwendigkeit der Verbindung beider Seiten, und meint, man dürfe nur die äufsere Seite mit dem Conductor der Maschine verbinden, gerade als ob dieses nicht auch eine Verbindung beider Seiten wäre. In seinen Versuchen nämlich ist der Conductor mit der innern Seite durch ein Vacuum verbunden, welches so gut als ein Leiter ist.

Sogleich nach dem Leidner Versuche ward auch Dr. Watson's Entdeckung bekannt, dafs der geriebene Körper die E. nicht aus sich selbst hervorbringe, sondern aus dem Reibzeuge sammle. Dies änderte die bisherigen Vorstellungen der Physiker von der Erregung der E. und brachte schon Watson selbst auf den Begriff von plus und minus E. oder davon, dafs die den Funken ziehende Person aus der Kugel eben das erhalte, was ihr das Reibzeug gegeben habe, daher vor dem Ziehen des Funkens die Kugel mehr E., das Reibzeug weniger, als sonst, müsse gehabt haben. Watson hat seine Abhandlung hierüber[1] schon im Anfange des Jahres 1747 eingereicht. Franklin hatte inzwischen eben dasselbe bemerkt. Wenn zwei Personen auf Wachs standen, deren eine die Röhre rieb, die andere den Funken darauszog, so waren beide elektrisirt, und gaben

---

1 Philos. Transact. Vol. XLIV. XLV.

sich unter einander selbst einen stärkeren Funken, als wenn jede von einer dritten berührt wurde. Er schloſs daraus, daſs eine von beiden das hergebe, was die andere erhalte, und daſs also vor dem hergestellten Gleichgewichte die eine mehr, die andere weniger gehabt habe. Dies gab ihm Anlaſs, die E. der einen die *positive*, der andern die *negative* zu nennen, und zur Erklärung der el. Erscheinungen überhaupt folgende Sätze anzunehmen.

1. Durch die ganze Körperwelt ist eine einzige feine Materie verbreitet, welche den Grund aller el. Erscheinungen enthält.

2. die Theile dieser Materie stoſsen sich ab, werden aber von den Theilen der Körper angezogen.

3. Jeder Theil eines Körpers kann eine gewisse Menge dieser Materie in sich nehmen, ohne daſs sie sich an seiner Oberfläche anhäufen darf; hat er gerade diese Menge, so ist er nicht elektrisirt, oder in seinem natürlichen Zustande.

4. Hat er mehr, als diese ihm natürliche Menge, so ist er positiv; hat er weniger, so ist er negativ elektrisirt.

5. Alle el. Erscheinungen entstehen durch einen Uebergang, in welchem sich der relative Ueberfluſs mit dem relativen Mangel ausgleicht, oder durch proportionirte Vertheilung dieser Materie. Hieraus erklären sich nun zuerst das Anziehen und Zurückstoſsen. Sind zwei Körper beide positiv, so werden sich ihre el. Materien stärker zurückstoſsen, als eine jede von ihnen von den Theilen des andern Körpers angezogen wird; daher scheinen sich die Körper zu fliehen. Ist der eine positiv, der andere negativ, so wird der Ueberfluſs des positiven von den Theilen des andern stärker angezogen, als er die wenige el. Materie desselben abstoſsen kann, daher gehen die Körper zusammen. Sind beide negativ, so stoſsen die Theile der in der Luft befindlichen el. Materie sich selbst stärker zurück, und werden von den Theilen der Körper stärker angezogen, als von ihrer zu wenigen el. Materie abgestoſsen, daher dringt die so leicht bewegliche Luft dazwischen, und die Körper fliehen von einander.

So folgt aus Franklin's Sätzen das Gesetz des Anziehens und Zurückstoſsens, und also auch das Gesetz der Wirkungskreise, welches, wie oben gezeigt worden, mit jenem ganz einerlei ist. Kommt ein Körper, der im natürlichen Zustande sich befindet,

in den Wirkungskreis eines positiv el., so treibt der Ueberfluſs der E. des Letzteren die relativ geringere Menge des natürlichen Antheils stärker zurück, als dieser von den Theilen des Körpers festgehalten wird, und zieht diesen Letzteren, und somit den Körper selbst an, so wie auch er selbst seinerseits angezogen wird, gerade so, wie ein positiv und negativ elektrisirter Körper einander anziehen. Kommt dagegen ein im natürlichen Zustande befindlicher Körper in den Wirkungskreis eines negativ elektrisirten, so häuft sich der natürliche Antheil nach der Seite hin an, wo weniger zurückstoſsende Kraft wegen des relativen Mangels von E. in dem negativ el. ihm entgegenwirkt, es entsteht Ueberfluſs, oder diese Seite wird positiv, und Anziehung tritt wieder auf dieselbe Weise ein, wie zwischen einem positiv und negativ elektrisirten. Zwar sind diese Erklärungen nicht Franklin's selbst, der sich von den Atmosphären damals noch den Begriff machte, daſs sie aus der um den Körper umherschwebenden el. Materie beständen. Erst Wilke und Aepinus haben die Wirkungskreise besser kennen gelehrt, und dadurch selbst im Franklin'schen Systeme den Zusammenhang der Erklärung erleichtert.

Was aber dieser Theorie den meisten Glanz gab, war die schöne Erklärung des Leidner Versuchs, der dadurch in einem über alle Erwartung deutlichen Lichte erschien. Franklin behauptete nämlich, das Glas sey undurchdringlich für die el. Materie selbst, nicht aber für die Wirkungen ihres Anziehens und Abstoſsens. Werde daher die eine Seite der Flasche *positiv* elektrisirt, so stoſse dieser Ueberfluſs eine gleiche Menge el. Materie in der andern Seite ab, daher werde diese eben so stark *negativ*, wofern sie nur ihre el. Materie wirklich abgeben könne, d. i. wenn sie nur nicht isolirt sey. Die Undurchdringlichkeit des Glases hindere die Ausgleichung des Mangels auf der einen Seite durch den Ueberfluſs der andern. Darin bestehe die *Ladung*. Werde nun eine äuſsere leitende Verbindung zwischen beiden Seiten gemacht, so gebe die positive Seite auf einmal ihren Ueberfluſs an die negative ab, ersetze den Mangel derselben und stelle des Gleichgewicht her. Dies sey die *Entladung*. Es bleibt bei der geladenen Flasche kein Hauptphänomen übrig, das man nicht auf diese Art mit hinlänglicher Deutlichkeit begreifen und vorhersagen könnte. Auch

die Erscheinungen des *Elektrophors* lassen sich aus diesem System erklären, wenigstens damit vereinigen[1].

Diese Vorzüge einer, wie es schien, vollkommen befriedigenden und einfachen Erklärung der mannigfaltigen el. Erscheinungen, haben dem Franklin'schen Systeme ein großses und dauerhaftes Ansehn verschafft. Die schwachen Waffen, womit es Nollet bestritt, konnten ihm nicht schaden. Gerade die Theile, die Nollet tadelte, z. B. die Undurchdringlichkeit des Glases, die verschiedenen Elektricitäten beider Seiten der Flasche, stehen am festesten, und gerade *der* Punct ist zweifelhaft, den Nollet selbst annahm, nämlich die Einheit der el. Materie. Robert Symmer[2] zog, wie schon oben bemerkt, aus seinen Versuchen über die E. geriebener seidener Bänder und Strümpfe die Vermuthung, daſs es zwei el. Materien gäbe, die beide einander stark anziehen, indem die Theilchen einer jeden sich unter einander selbst stark abstoſsen. Nach dieser Hypothese sind also + E und — E zwei wirklich verschiedene Materien, die gegen einander gleichsam eine innige chemische Verwandtschaft haben, einander in der Entfernung anziehen, und durch diese Anziehung die einer jeden eigene repulsive Kraft ihrer Theilchen gegen einander schwächen, oder sich schon aus der Ferne binden und bei wirklichem Uebergange sättigen können. Wo nach Franklin der Uebergang allemal nur von der Seite, die zu viel hat, d. h. von seiner positiven Seite aus, in die andere, die zu wenig hat, oder die negative Seite geschieht, da findet nach der richtig verstandenen Symmer'schen Theorie stets wechselseitiger Uebergang statt, oder es kommen sich beide Elektricitäten stets entgegen. Bei der obigen Auseinandersetzung der el. Erscheinungen haben wir eigentlich diese Theorie zum Grunde gelegt. Sie hat auch dem ersten Anblicke nach in ihren speciellen Anwendungen so viele Aehnlichkeit mit der Franklin'schen, daſs Einige sie bloſs eine Verdoppelung der Letzteren genannt haben, indem in dieser *dualistischen* Theorie die negative E. auch ihrer Seits eine gleiche Rolle zu spielen scheint, wie die eine positive in dem Franklin'schen Systeme. Untersucht man aber die Sache gründlicher, so fallen die Abweichungen doch viel gröſser aus, da nach dem consequenten

1 S. *Elektrophor.*

2 Philos. Transact. Vol. LI. P. 1.

Dualismus alles auf einem bloſsen Wechselverhältnisse der el. Materie selbst beruht, und die Theile der Körper selbst sich ganz passiv verhalten. Daher halten wir für nöthig, von den Haupterscheinungen im Geiste der Symmer'schen Theorie, wie sie zwar von Symmer selbst noch nicht vorgetragen wurde, aber in den Principien desselben liegt, und nach Anleitung der lichtvollen Darstellung vorzüglich durch Biot, hier die speciellere Erklärung zur Vergleichung mit der Franklin'schen mitzutheilen.

Diese Haupterscheinungen, sofern sie hier nur erst in Betracht kommen, sind die *Repulsions-Erscheinungen gleichartig elektrisirter Körper* und *elektrisirter gegen indifferente* oder *im 0 el. Zustande befindliche Körper*. A B sollen zwei positiv elektrisirte Hollundermarkkügelchen seyn. Die el. Flüssigkeiten, welche diese Kugeln einhüllen, stoſsen sich wechselseitig ab, und ihre Theilchen würden sich durch entgegengesetzte Bewegung im Raume verbreiten, wenn nicht die umgebende Luft sie um jeden Körper zurückhielte. Sie können daher nur nach den entgegengesetzten Seiten der beiden Kugeln hingleiten und sich daselbst anhäufen, so daſs die Flüssigkeit der Kugel A nach dem hintern Theile d derselben zurückgedrängt wird, und ihre Kraft auf die in der Nähe des Punctes befindliche Luft selbst ausübt. Weil alsdann das Gleichgewicht zwischen dieser Luft und derjenigen, welche dem vordern Theile c zunächst liegt, aufgehoben ist, so wirkt dieser letztere Theil durch seine E. auf die Kugel A, um sie nach der Richtung c h fortzustoſsen. Das ähnliche Raisonnement gilt umgekehrt auch von der Kugel B. Hieraus folgt dann nothwendig, daſs beide Kugeln nach entgegengesetzter Richtung aus einander gehen und fliehen müssen. Man könnte hier bemerken, daſs man die Mitwirkung der Luft gar nicht nöthig habe, um das wechselseitige Auseinandergehen beider positiv elektrisirter Körper zu begreifen, weil es schon eine nothwendige Folge der zurückstoſsenden Wirkung sey, welche die Theilchen der el. Flüssigkeit unmittelbar auf einander ausüben, genau so wie die gleichartigen Pole der Magnetnadeln sich wechselseitig zurückstoſsen und fliehen. In der Wirklichkeit kann man indeſs die Mitwirkung der Luft auf die oben angegebene Weise nicht leugnen, weil die E. an der Oberfläche der Körper selbst beweglich ist, und sobald sie sich also an der einen Seite anhäuft, was

Fig. 33.

eine nothwendige Folge der wechselseitigen Repulsion ist, an dieser Seite auch der Elasticität der Luft stärker entgegen wirken muſs, wodurch dann das Uebergewicht der Elasticität der Luft von Innen heraus nothwendig folgt. Wäre die E. an der Oberfläche der Körper selbst nicht beweglich, so würde allerdings die bloſse Repulsivkraft ihrer Theilchen in Beziehung auf einander als die einzige physische Ursache der Bewegung zu betrachten seyn, wie dieses bei Magneten wirklich der Fall ist, bei welchem die nördlichen oder südlichen Fluida, die sich zurücktreiben, ihre Stelle nicht verändern.

Die obige Erklärung findet auch ihre Anwendung, wenn beide Kugeln negativ elektrisirt sind, da die negativen Flüssigkeiten gegen einander dieselbe repulsive Thätigkeit ausüben, wie die positiven. Wenn die Kugel A positive, B negative E. besitzt, so werden die el. Flüssigkeiten einander so anziehen, daſs sie sich an der innern oder vordern Seite anhäufen, und also z. B. die in A an der Stelle C angehäufte Flüssigkeit, durch Zurückstoſsung auf die benachbarte Luft, wirken, folglich die an den hintern Theil grenzende Luft die Kugel A nach der Richtung d n stoſsen wird. Der nämliche Erfolg findet im entgegengesetzten Sinne in Hinsicht der Kugel B statt, und folglich bewegen sich die Flüssigkeiten und die Kugeln gegen einander.

Um den Fall gehörig zu würdigen, wo einer der beiden Körper im natürlichen Zustande sich befindet, und nur der andere elektrisirt ist, wo also das Gesetz der Vertheilung oder der Zersetzung des 0 in + und — eintritt, muſs erst das Gleichgewicht der beiden Körper betrachtet werden, die sich im natürlichen Zustande befinden, und zwar ist es hinlänglich, die Art zu bestimmen, wie A auf B wirkt, weil alle Wirkung wechselseitig geschieht.

Es finden hier vier Wirkungen von A auf B statt, welche von den Abstoſsungen seiner beiden el. Flüssigkeiten auf die gleichnamigen in B, und von den Anziehungen gegen die ungleichnamigen Flüssigkeiten herrühren. Das Gleichgewicht hängt von dem Gleichgewichte dieser vier Wirkungen ab. + E (von A) zieht — e (von B), — E stöſst — e ab, — E zieht + e an, + E stöſst + e ab. Nun sind die beiden ersten Kräfte einander gleich, denn wenn — e mehr oder weniger von + E angezogen als von — E abgestoſsen würde, so würde es eine Bewegung annehmen, welches aber mit der Vor-

Fig. 33.

aussetzung des Gleichgewichts streitet. Aus demselben Grunde sind auch die beiden letzten Kräfte einander gleich, nämlich die Anziehung von + e durch — E, und die Abstofsung von + e durch + E. Ferner ist die dritte Kraft der ersten gleich, d. h. so stark als + E — e anzieht, zieht auch — E + e an. Denn die Gröfse der Totalkraft, mit welcher — e sich nach + E zieht, ist gleich dem Producte — e × + E; eben so ist die Totalkraft, mit welcher + e von — E gezogen wird, dem Producte + e × — E gleich. Weil nun die beiden el. Flüssigkeiten in jedem Körper wechselseitig durch einander neutralisirt sind, so folgt daraus, dafs sich die Flüssigkeiten — E und — e und + E und + e in einer geometrischen Proportion befinden, d. h. — E × + e = + e × — E. Da nun drei von den hier betrachteten Kräften einander gleich sind und ein Gleichgewicht dabei statt findet, so mufs natürlich die vierte Kraft jeder der drei andern gleich seyn. Diese Gleichheit der vier Kräfte macht, dafs zwei Körper im natürlichen Zustande nicht auf einander wirken. Nun betrachte man einen positiv elektrisirten Körper A in Beziehung auf B, das sich im natürlichen Zustande befindet. Die positive Flüssigkeit, womit A umgeben ist, übt eine *zurückstofsende* Kraft auf die gleichartige el. Flüssigkeit, welche den einen Theil von dem natürlichen Fluidum des Körpers B ausmacht, und eine anziehende auf sein — E aus. Das — zieht sich nach der Seite, die A am nächsten liegt, das + nach der entgegengesetzten Halbkugel von B. Wenn man nun auf die zu A hinzugekommene el. Flüssigkeit, von welcher sein el. und damit thätiger Zustand abhängt, dieselbe Schlufsart anwendet, wie bei derjenigen, welche einen Theil seines natürlichen Fluidums bildet, so ist leicht einzusehen, dafs sie bei gleicher Entfernung Wirkungen auf die beiden Flüssigkeiten von B ausüben würde, die sich wechselseitig zerstören. Da aber die Entfernung nicht mehr dieselbe ist, so wird das — e von B stärker angezogen als das + e zurückgestofsen werden, wovon dann die wechselseitige Annäherung bis zur Berührung die Folge seyn wird, wenn die Körper frei aufgehängt und beweglich sind. Wenn sich dann jene überschüssige Quantität der positiven Flüssigkeit von A mit der auf der Oberfläche von B verbreiteten negativen verbindet, so entsteht aus dieser Vereinigung eine gewisse Quantität natürlicher Flüssigkeit oder 0, welche in B zurückbleibt. Derjenige Theil der

positiven Flüssigkeit, der nothwendig aufser dem Zustande der Verbindung bleibt, vertheilt sich unter die beiden Körper nach einem bestimmten Gesetze der Oberflächen, und weil sich die Körper nun in gleichartig elektrisirtem Zustande befinden, so stofsen sie sich, wie auch die Erfahrung lehrt, einander ab. Alles Angeführte pafst auch auf den Fall der negativen Ladung von A, nur mit Veränderung der Zeichen. Die bisherige Darstellung bezog sich auf Leiter der E., an welchen diese sich frei bewegen kann. Wird ein Nichtleiter von einem elektrisirten Leiter angezogen, so bleibt ersterer an letzteren hängen, denn die Anziehung mufs fortdauern, weil nach der Berührung die überschüssige el. Flüssigkeit von A den Körper B nicht durchdringen kann, um sich mit der ihr entgegen gesetzten zu vereinigen. Da alle el. Erscheinungen von einem gleichen Wechselverhältnisse entweder der beiden freien ungleichnamigen oder der gleichnamigen Elektricitäten, oder der positiven oder der negativen gegen das 0 oder die neutrale Verbindung beider Elektricitäten abhängen, wobei jedesmal eine Zersetzung derselben, oder wie wir es oben bezeichnet haben, eine Vertheilung statt findet, so sieht man leicht ein, dafs die gegebene Erklärung überall ihre Anwendung finden mufs.

Was namentlich noch den Leidner Versuch anlangt, so macht das der inneren Seite der Verstärkungsflasche zugeführte + E durch Zurückstofsung einen nach der Dicke der dazwischen befindlichen Glaswand verschiedenen verhältnifsmäfsigen Antheil + E der äufsern Seite frei, und bindet eine gleiche Menge — E durch Anziehung derselben. Ist also die äufsere Seite mit hinlänglichen Leitern verbunden, so giebt sie demselben soviel + E ab, als frei wird, und soferne ihr Wirkungskreis sich auch noch auf diese Leiter selbst erstreckt, so treibt sie auch noch aus diesen + E zurück, und zieht ihr — E an. Dies macht die Ladung aus, deren genauerer Vorgang indefs erst unter dem Artikel *Flasche, geladene,* erläutert werden wird. Die entgegengesetzte E. auf der äufsern Seite ist vollkommen durch die der innern Seite gebunden, welche letztere dagegen stets einen verhältnifsmäfsigen Antheil freier E. zeigt. Wird zwischen beiden Seiten eine leitende Verbindung gemacht, so macht sich auf einmal alles — E und + E von beiden los. Aus der innern Seite geht das + E heraus, welches das — E der äufsern band, die äufsere entläfst das — E, welches einen

verhältnifsmäfsigen Theil des + E der innern Seite gebunden gehalten hatte. Beide Seiten befreien also einander selbst von ihren Elektricitäten. Die Phänomene des *Elektrophors* erklären sich nach dieser Theorie eben so genügend, da sie nach dem Gesetze der el. Vertheilung erfolgen[1].

Wie verschieden auch sonst die Ansichten der Physiker über die nähere Natur der E. sich gestaltet haben, so lassen sie sich doch immer auf eine dieser beiden Haupttheorien zurückbringen, und um über den Werth derselben entscheiden zu können, ist es also vor allen Dingen nöthig, den Vorzug der einen derselben vor der andern dargethan, oder, was das letzte Ziel seyn mufs, womöglich die eine als unhaltbar gänzlich beseitigt zu haben.

Bei Gegeneinanderhaltzung derselben erscheint beim ersten Anblicke ein wesentlicher Vorzug der *Franklin'schen Theorie* darin zu bestehen, dafs sie da nur eine Materie gebraucht, wo der Dualismus zwei zu Hülfe nehmen mufs. Man soll nach Newton's weisen Regeln nie mehr Ursachen annehmen, als zur Erklärung der Erscheinungen nothwendig sind, also nicht zwei, wo eine hinreicht. Aber es ist hier eben die Frage, ob diese eine wirklich hinreichend sey, und ob nicht die Annahme zweier Materien durch Analogie mit andern schon fest begründeten Erklärungen sich mehr empfehle. Man kann in Hinsicht auf das Für und Wider gleichsam zwei Epochen in der Geschichte der Elektricitätslehre unterscheiden, jene vor der Entdeckung des Galvanismus und insbesondere der Volta'schen Säule, in welcher das Uebergewicht der Gründe für zwei el. Materien noch nicht so entschieden war, und daher auch die Franklin'sche Theorie noch immer die meisten Anhänger zählte, und die neuere mit der Volta'schen Säule beginnende, in welcher die neu entdeckten chemischen Verhältnisse der E. der Waagschale auf der des Dualismus den völligen Ausschlag zu geben scheinen. Doch auch ohne Rücksicht auf diese chemischen Verhältnisse boten sich schon in jenem ersten Zeitpuncte mannigfaltige Schwierigkeiten bei der Erklärung verschiedener Erscheinungen nach Franklin's Weise dar.

Zuerst läfst sich einwenden, dafs noch niemand durch einen entscheidenden Versuch habe darthun können, welcher von

---

1 S. *Elektrophor.*

beiden el. Zuständen der *wirklich positive* sey, d. h. auf welcher Seite sich der Ueberfluſs befinde. Nach Franklin's Theorie müſste es sich nämlich mit + E, 0, und — E wie mit verdichteter, gewöhnlicher freier, und verdünnter Luft verhalten. Wie es nun bei der Luft sogleich in die Augen fällt, wo sie verdünnt und verdichtet ist, so sollten sich doch hier auch deutliche Anzeigen finden, wo man den Ueberschuſs, und wo den Mangel antreffe. Franklin ward hierüber schon von Kinnersley befragt, und nahm die Glaselektricität für die positive an. Seine Gründe für diese Behauptung sind folgende:

1. Die Glaselektricität giebt weit stärkere und längere Funken, als die einer Schwefelkugel. Dieses erklärt er dadurch, daſs die Körper weit geschickter sind, mehr E. anzunehmen, als die ihnen eigene aus sich herzugeben, daher der Conductor durch Glas, wobei er mehr erhält, stärker elektrisirt werde, als durch Schwefel, wobei er etwas abgeben müsse. Jedoch kann diese willkürlich angenommene Behauptung keinen Beweis abgeben.

2. Wenn die Glaselektricität aus Spitzen ausgeht, sind die Feuerbüschel lang, stark und prasselnd; kürzer hingegen, schwächer und mehr zischend, wenn eine Spitze Harzelektricität verliert. Franklin nimmt die starken Büschel für Ausströmungen des Ueberflusses, die schwachen für Eindringen an, wodurch Mangel ersetzt werde. Die Vertheidiger seines Systems haben noch angeführt, daſs Spitzen, wenn sie + E annehmen, oder nach der dualistischen Ansicht — E abgeben, gar keinen Büschel, sondern einen leuchtenden Punct zeigen, den sie auch wohl einen Stern nannten. Hiermit stimmen aber die Versuche nicht immer überein, denn negative Spitzen zeigen bei stärkerer Intensität ihrer E., namentlich wenn sie mit dem Conductor des Reibzeuges einer starken Elektrisirmaschine verbunden sind, wirkliche divergirende Feuerbüschel. Noch mehr: An beiderlei Spitzen fühlt man ein Blasen, wenn man die flache Hand dagegen hält, und dieser Wind kommt jederzeit von der Spitze her, geht aber nie auf sie zu. Man kann durch dieses Blasen Körper in Bewegung setzen[1], und diese drehen sich allezeit nach einerlei Seite, es sey nun + E was sie treibt, oder — E. Ja eben das geschieht auch im luftleeren Raume. Kampher, den man auf dem Conductor einer Elektrisirmaschine

---

1 S. *Flugrad, elektrisches.*

anzündet, wieder ausbläst und dann plötzlich elektrisirt, wird in lange divergirende Fäden ausgesponnen, der Conductor mag + E oder — E haben. Auf ein gleiches Resultat führt auch das Verhalten der Spitzen gegen die Lichtflamme, an welche sich überhaupt die Physiker wegen ihrer vorzüglich leichten Beweglichkeit gewandt haben, um über die Richtung der E. in ihrer Bewegung und also namentlich darüber, ob einerseits ein Ueberfluſs, andererseits ein Mangel statt finde, ins Reine zu kommen, die aber eben wegen dieser Beweglichkeit leicht zu Täuschungen Anlaſs geben kann. Remer hat einen solchen hierher gehörigen Versuch mitgetheilt, der, ihm zufolge, gegen Franklin zu sprechen scheint [1]. „Wenn man einer am positiv elektrisirten Conductor befindlichen Drahtspitze eine brennende „Wachskerze nähert, so wird diese anfänglich weggeblasen, „als wenn ein Wind aus der Spitze auf sie hinwehete. Bringt „man sie näher, so wird sie zuletzt gänzlich ausgelöscht, „wenn die Flamme nicht zu groſs ist. Nach Franklin's Theorie „hätte nun an einer eben so mit dem negativ elektrisirten Conductor „verbundenen Spitze das Gegentheil erfolgen müssen. Ich brachte „eine kleine brennende Wachskerze in den bewegten Luftstrom „vor einer solchen Spitze, und sogleich entfernte sich die Flamme „von derselben, wurde kleiner und drohte zu verlöschen, wie „beim positiv elektrisirten Conductor. Dies dauerte so lange „als ich die Kerze zwei bis drei Zolle von der Spitze entfernt „hielt. Näherte ich sie aber der Spitze bis auf wenige Linien, „so erholte sich die Flamme sichtbar, fing scheinbar an, leb„hafter zu brennen, zog sich mit ihrem mittlern Theil nach der „Spitze hin, und nahm eine bauchige halbmondförmige Gestalt „an, so daſs die Spitze der Flamme von der Drahtspitze abge„wendet war, ihr Körper aber sich dem Drahtende näherte. „Am positiven Conductor löschte sich die Flamme sogleich aus, „als ich sie der Drathspitze nahe brachte, und selbst bei der „schwächesten E. konnte ich es nicht dahin bringen, daſs sie „eben die Gestalt erhielt, welche sie am negativen Conductor „angenommen hatte.“

Daſs dieses Phänomen doch nicht ganz entscheidend für das dualistische System und gegen Franklin's Theorie spricht, bemerkt indeſs Remer selbst, da auch bei der gröſseren Annä-

---

1 G. VIII. 330.

herung der Flamme die negativ elektrisirte Spitze derselben eben so gut hätte verlöschen sollen, wie die positiv elektrisirte Spitze. Weniger zweideutig sind ähnliche Versuche von Muncke[1]. Gegen eine brennende Kohle, eine Lichtflamme, am besten eine brennende Räucherkerze, sie mochte auf den positiven oder negativen Conductor gesetzt werden, blies der Wind gleichmäſsig von einer einen halben bis ganzen Zoll entfernten nicht isolirten Spitze, und wenn einer der genannten Gegenstände auf ein nicht isolirtes Gestell gesetzt wurde, so blies der Wind eben so gut von einer solchen Spitze aus, die an einer isolirenden Handhabe gehalten, und mit dem Conductor in Verbindung gesetzt wurde, es mochte der positive oder negative seyn. Daſs dieses Phänomen nicht, wie Gilbert glaubt, auf das wechselseitige Zurückstoſsen negativ elektrisirter leicht beweglicher Körper, für welches die Franklin'sche Theorie einen Grund in der Anziehung derselben durch die umgebende Luft anzugeben weiſs, zurückgeführt werden kann, ist einleuchtend Denn wie sollte eine negative Spitze, ohne daſs etwas aus ihr ausströmt, die umgebende Luft in den negativen Zustand zu versetzen im Stande seyn, da ja die relativ gegen sie positive Luft vielmehr gegen sie hinströmen muſs.

Auch Röslin[2] beruft sich auf die Erscheinungen, welche die Lichtflamme in ihrem Verhalten gegen die beiden Elektricitäten zeigt, als auf einen Hauptbeweis gegen Franklin's Theorie. Eine Lichtflamme in einer Entfernung von 1½ Zoll, entweder an den Cylinder der Elektrisirmaschine während des Reibens derselben oder an eine an den isolirten Conductor des Reibzeuges gesteckte Kugel gebracht, wird in ihrer Richtung gleichmäſsig so verändert, daſs sie unten einen Bauch gegen den Cylinder oder die Kugel hin bildet, und ihre Spitze sich davon flatternd abwendet. Es ziehe also, meint Röslin sowohl das + als das — den untern dem Talge am nächsten liegenden Theil der Flamme an, wobei diese, weil das Fett ein Halbleiter ist, in gewissem Grade mit + E oder — E el. werden soll, was das Abgestoſsenwerden ihrer Spitze und das Flattern derselben zur Folge habe. (Dann sollte ja aber auch der auf gleiche Art elektrisirte Bauch der Flamme abgestoſsen werden.) Wurde

1 G. N. F. XI. S. 95.
2 Dessen kritischen Prüfungen u. s. w. Ulm 1823. S. 40 ff.

dagegen die Lichtflamme zwischen den geriebenen Glascylinder und den ersten Leiter, welcher an dem der Flamme zugekehrten Ende mit einer 1¼ Linien weiten, 1¼ Zoll langen, an ihrem vordern Ende recht glatt abgeschliffenen kupfernen Röhre versehen war, oder zwischen jene Kugel des Reibzeugs und einer zweiten, mit einer ähnlichen Röhre versehenen Leiter gebracht, so dafs die Röhre gegen die Mitte der Flamme gerichtet war und etwa 1 Zoll davon abstand, so nahm sie, wenn die Maschine in Bewegung gesetzt wurde, eine umgekehrte Richtung, wie im vorigen Versuche an, indem nunmehr der Bauch der Flamme gegen jene Röhre gezogen, die Spitze dagegen in dem einen Falle gegen den Glascylinder, in dem andern gegen die Kugel des Conductors des Reibzeugs gelenkt wurde. Diese Versuche sind in soferne wichtig, als sie eine gleiche Art der Wirkung sowohl des + E als des — E auf die Lichtflamme beweisen. Indessen haben andere Versuche ein solches ganz gleichmäfsiges Verhalten der beiden Elektricitäten gegen die Lichtflamme nicht bestätigt. Schon die oben angegebenen von Remer stimmen mit Röslin's Angaben nicht ganz überein, eben so wenig die von Cuthbertson angestellten[1]. Er isolirte zwei Drähte, welche sich mit Metallkugeln von etwa ¼ Zoll Durchmesser endigten, verband den einen mit dem positiven, den andern mit dem negativen Conductor einer Elektrisirmaschine, entfernte beide Kugeln etwa 4 Zoll von einander und setzte zwischen sie ein brennendes Licht, so dafs der Mittelpunct der Flamme sich ungefähr in der Mitte zwischen den Mittelpuncten beider Kugeln befand. Wurde nun die Maschine gedreht, so fing die Flamme an, sehr stark zu flattern, dabei schien sie sich nach der negativen Kugel hinzuneigen, doch war dies Letztere zweideutig. Wurde nun mit Drehen fortgefahren, so fing (bei einer Scheibe von 2 Fufs Durchmesser etwa nach 50 Umdrehungen) die negative Kugel an, warm zu werden, indefs die positive kalt blieb. Nach 200 Umdrehungen war die negative Kugel so heifs, dafs man sie nicht mehr anfassen konnte, und die positive noch eben so kalt, als zu Anfange. Cuthbertson betrachtet diese Thatsache als ein Zeichen, dafs sich das el. Fluidum von der positiven nach der negativen Kugel hinbewege, und demnach als einen Beweis für die Richtigkeit der Frank-

1 Nicholsons Journal Vol. III. p. 188.

lin'schen Theorie. W. T. Brande[1] kam aber auf den Gedanken, daſs diese Erscheinung noch eine andere Erklärung zulasse, und zwar aus der elektrochemischen Theorie. Er fand bei Wiederholung des Versuchs, daſs wenn die Wirkung der Elektrisirmaschine nur schwach war, die negative Oberfläche nicht nur schneller heiſs wurde als die positive, sondern auch die Flamme und den Rauch sichtbar anzog. Als er nun an die Stelle der Kerzenflamme brennenden Phosphor brachte, gab die Flamme desselben die umgekehrten Erscheinungen. Die positive Oberfläche wurde beträchtlich heiſser als die negative, und die Flamme und der Rauch des Phosphors kräftig nach ihr hingezogen. Er schloſs hieraus, die Lichtflamme werde, weil sie Kohlenstoff und Wasserstoff in Menge enthalte, von dem *negativen* Pole angezogen, die Flamme und der Rauch des Phosphors dagegen von dem *positiven* Pole, weil beim Verbrennen des Phosphors Säure entstehe, und so würden diese Erscheinungen unmittelbare Folgen der bekannten Gesetze der elektrischchemischen Anziehungen seyn. Zur weiteren Bestätigung dieser Ansicht stellte Brande noch fernere Versuche an. Hierzu gebrauchte er ein kleines Tischchen, auf welches der brennende Körper gesetzt wurde, und an dessen entgegengesetzten Seiten auf isolirenden Säulen, die einander genähert oder von einander entfernt werden konnten, sich zwei hohle Kugeln aus dünnem Messingblech befanden, von denen jede die Kugel eines mit seiner ganzen Scala über sie hinausragenden Thermometers in sich schloſs. Die innere Seite des Messingblechs und die äuſsere Seite der Thermometerkugeln war mit Lampenruſs matt geschwärzt, um das Aus- und Einströmen der Wärme zu erleichtern. Die eine Kugel wurde mit dem positiven, und die andere mit dem negativen Leiter einer kleinen Nairne'schen Patentmaschine in leitende Verbindung gesetzt, so daſs der ganze Apparat vollkommen isolirt war.

Zuerst leitete er zwischen die beiden Kugeln einen kleinen Strom ölerzeugendes Gas, und steckte ihn an; die Flamme wurde offenbar nach der negativen Kugel hingezogen. Sie blieb eine Minute lang brennen; beide Thermometer hatten vorher auf 60° Fr. gestanden; am Ende des Versuchs aber stand das in der positiven Kugel auf 62°, und das in der negativen Kugel

1 Philos. Trans. for 1814. P. I.

auf 72° F. Eine sehr kleine Flamme von Phosphor-Wasserstoffgas neigte sich ein wenig nach der positiven Kugel hin, und sie machte in einer Minute das positive Thermometer um 5° und das negative nur um 3° steigen. Eine gröfsere Flamme schien nach beiden Kugeln gleichmäfsig hingezogen zu werden, der saure Rauch zog aber immer nach der positiven Kugel. Die Flamme des Arsenikwasserstoffgases wurde von der negativen Kugel angezogen, der Rauch vom weifsen Arsenik aber, der während des Verbrennens entstand, wurde ein wenig nach der positiven Kugel gezogen. — Die Flamme des Wasserstoffgases gab nur einen geringen Ausschlag von gröfserer Erwärmung für die negative Kugel. Eine gröfsere Flamme von Kohlenoxydgas zog sich augenscheinlich nach der positiven Kugel, und nachdem jene 2 Minuten gebrannt hatte, war diese Kugel um 2½ bis 3°F. wärmer, als die negative. Die Flamme des Schwefelkohlenstoffs wurde von der negativen Kugel angezogen, während die aufsteigenden sauren Dämpfe die entgegengesetzte Richtung nahmen. Ein kleiner Strom salzsaures Gas und ein ähnlicher von salpetersaurem Gas, welche Brande zwischen beide Kugeln treten liefs, verhielten sich auf ganz gleiche Art, sie wurden sogleich von der positiven Kugel angezogen, und dies wurde noch sichtlicher, wenn in die Luft um den Apparat Ammoniakgas gebracht wurde. Auch bei einer Entfernung der Kugeln von 6 Zoll wurde das Lakmuspapier, womit die Kugeln umkleidet waren, von einem in der Mitte zwischen beiden aufsteigenden Strome von salzsaurem Gase augenblicklich an der positiven Kugel geröthet, während das der negativen Kugel ihr Blau unverändert behielt. Die Flamme und der alkalische Rauch des zwischen beiden Kugeln verbrennenden Kalium's begab sich nach der negativen Kugel. Ammoniakgas gab keine recht deutliche Resultate, es schien von beiden Kugeln gleichmäfsig angezogen oder oder abgestofsen zu werden, und wenn gleich das Kurkumäpapier, womit die beiden Kugeln überzogen wurden, eher an der negativen Kugel bräunlich zu werden schien, so waren doch nach kurzer Zeit die Färbungen auf beiden Seiten gleich stark. Ein von mäfsig erhitztem Benzoe sich erhebender Dunst von Benzoesäure, schien von der positiven Kugel angezogen zu werden; als sich aber das Benzoeharz entzündete, wurden die Flamme und die ölige Materie sogleich zu der negativen hingezogen. Etwas reine Benzoesäure, die zwischen den

beiden Kugeln aus einer silbernen Schale sublimirt wurde, zog sich nach der positiven Kugel, sobald aber die Säure sich entzündete, nahm der rufsige Rauch den Weg zur negativen Kugel. Kampher und die Harze brennen bekanntlich mit vielem Rufs. Flamme und Rauch wurden von der positiven Kugel zurückgestofsen und von der negativen sehr deutlich angezogen, diese überzog sich bald dick mit Rufs, indefs die positive Kugel davon nur sehr wenig annahm. Der Bernstein verhielt sich nach Art des Benzoe. Bei blofser Schmelzung zogen sich seine sauren Dämpfe nach der positiven Kugel, sobald er sich aber entzündete, gingen die Flamme und der Rauch zur negativen Kugel. Bei diesen Versuchen kommt es vorzüglich darauf an, dafs die Luft ganz in Ruhe und die el. Kraft nur schwach sey; erregt man zu starke E., so werden Flamme und Rauch, besonders wenn sie isolirt sind, von beiden Kugeln abwechselnd angezogen und abgestofsen.

Die Resultate dieser Versuche liefern eine auffallende Uebereinstimmung des Verhaltens der Reibungselektricität mit demjenigen der Berührungselektricität, und deuten auf eine gleiche Ursache. So wie in der Gasentbindungsröhre die verbrennlichen und basischen Materien sich nach dem negativen, die verbrannten, und im engeren Sinne die aciden Materien sich nach dem positiven Pole hinziehen und diese Anziehung von dem relativen Gegensatze der el. Ladung dieser beiderlei Classen von Körpern abzuhängen scheint, so zeigte sich auch in obigen Versuchen die gleiche Beziehung. Insofern entscheiden dieselben an und für sich nichts wider die Franklin'sche Theorie, indem sie die Bewegungen der Flamme auf das allgemeine Gesetz der Anziehung *entgegengesetzt*, und der Zurückstofsung *gleichartig* elektrisirter Körper zurückführen[1].

2. Franklin glaubte zu bemerken, dafs der Funken zwischen der Schwefelkugel und seinem Finger sich über des letzteren Oberfläche zu verbreiten schien, als ob er aus dem Finger flösse; bei der Glaskugel aber war der Fall anders. Indefs sieht man leicht ein, dafs ein so zweideutiges Phänomen, vollends da die Verbreitung über eine Fläche ebensowohl Einfliefsen als Ausfliefsen anzeigen kann, unmöglich zum Entscheidungsgrunde eines Systems dienen kann.

1 Vergl. den Artikel: *Galvanismus.*

3. Er führt endlich an, dafs das Blasen negativer Spitzen schwächer sey, als das von positiven. Dies ist aber mehr wider ihn, indem er dadurch doch eingesteht, dafs negative Spitzen auch blasen, welches doch eher ein Ausströmen als ein Einströmen anzeigt. Höchstens folgte hieraus, dafs + E unter den gewöhnlichen Umständen sich leichter mittheile, als — E, sey es nun, dafs sie bei gleicher Quantität eine gröfsere Expansivkraft besitze, oder die Luft dieselbe weniger isolire. Die Anhänger Franklin's haben nach ihm mancherlei Versuche erdacht, um zu beweisen, dafs die Richtung der el. Bewegung oder Thätigkeit von der positiven Seite nach derjenigen hingehe, welcher die negative zukomme. Cavallo hat insbesondere mehrere solche Versuche geltend zu machen gesucht. Es hat aber keiner dieser Versuche die zur Entscheidung erforderliche Deutlichkeit. Bei allen wird eine fast ängstliche Sorgfalt empfohlen, wenn sie nicht fehlschlagen oder zweideutig erscheinen sollen; bei einigen wird sogar eingestanden, dafs das Resultat bald so, bald anders sey. Die Versuche, welche sich auf die Phänomene der Entladung der Leidner Flaschen beziehen, werden an ihrem Orte gewürdigt werden, und wir bemerken hier nur vorläufig, dafs, weit entfernt ein der Franklin'schen Theorie günstiges Resultat zu geben, einige derselben nicht wohl vereinbar mit derselben sind. Da wo die Lichterscheinungen über die Richtung und den Gang der E. entscheiden sollen, ist eine Täuschung leicht möglich, und die Bewegung ist gewöhnlich so rasch, dafs sie keine genaue Beobachtung zuläfst. Doch deuten selbst diese Phänomene mehr auf das Zusammentreffen zweier Materien, als auf eine einseitige Thätigkeit. So erscheint in der That der gewöhnliche el. Funken, der zwischen dem positiven Conductor und dem Knöchel des Fingers oder einer auffangenden Kugel ausbricht, aus zwei Hälften zusammengesetzt, die von beiden Seiten nach der Mitte zusammenfahren. An den Enden beider Seiten ist er dick und von intensiverem weifsem Lichte, in der Mitte schmäler mehr violett, fast kupferfarben, ja bisweilen ganz unterbrochen. Ebenso verhält sich die Sache, wenn zwischen dem negativ elektrisirten Conductor des Reibzeugs und einer Auffangkugel ein Funken durchbricht, nur dafs der Funken in diesem Falle unter gleichen Umständen stets kürzer ist[1].

---

[1] S. *Funken*, *el.*

Van Marum glaubte aus folgenden mit der grofsen Taylerschen Maschine angestellten Versuchen ein entscheidendes Argument für die Franklin'sche Theorie erhalten zu haben. Setzt man nämlich bei günstiger Witterung die Maschine in Bewegung, und stellt vor den Haupt-Conductor einen zweiten, so sieht man im Dunkeln einen Funken zwischen beiden hervorspringen, welcher statt einen einzigen Feuerstrahl zu bilden, (wie dieses bei schwächeren Maschinen der Fall ist) sich beim Ueberspringen in eine grofse Zahl von Aesten theilt, welche die Figur eines Baumes annehmen, wovon der Stamm gegen den positiv geladenen Conductor gerichtet ist, die Aeste aber gegen den zweiten (relativ negativen) Conductor gewendet sind. Um aber den Beweis ganz entscheidend zu machen, verband er den Hauptconductor mit dem Reibzeuge, der dadurch negativ geladen wurde, und liefs einen Funken auf einen zweiten mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Leiter springen. Auch in diesem Falle sprang der Funken nicht minder sichtbar in getheilten Strahlen von dem nicht elektrisirten Conductor, zu dem negativ elektrisirten. Die Aeste des Funkens waren nicht so lang, wie im ersten Versuche, aber eben so deutlich[1]. Diesem letzteren Versuche steht aber ein von G. Bischoff[2] angestellter geradezu entgegen, und hebt eben damit die Beweiskraft des ersteren auf. Es diente ihm zu demselben eine Cylindermaschine, an welche der erste oder positive Leiter und derjenige des Reibzeugs einander ganz gleich waren. Steckte er zuerst auf den positiv elektrisirten Conductor, während der des Reibzeugs mit dem Erdboden in leitender Verbindung war, einen messingenen Knopf von ungefähr ¼ Zoll Durchmesser, und näherte er demselben einen mit einem gleichen Knopfe versehenen messingenen Leiter, den er in der Hand hielt, so sprang in einer gewissen Entfernung ein Funken über, der ungefähr ¼ Zoll lang einen einzigen Feuerstrahl bildete, dann oben in zwei Aeste sich theilte, welche auf ihrem fortgesetzten Wege in immer mehrere Aeste zertheilt wurden; in gröfserer oder geringerer Entfernung zeigte sich blofs ein einziger Feuerstrahl. Steckte er hingegen jenen Knopf auf den Conductor des Reibzeugs, und verband den andern Conductor leitend mit dem Erdboden, so war ganz dieselbe

1 Schweigg. Journ. XXIX. 475.

2 Kastner's Arch. II. 207.

Erscheinung wahrzunehmen, nur in umgekehrter Richtung, die Aeste waren gegen den in der Hand gehaltenen Leiter, und der Stamm gegen den negativ elektrisirten Conductor gekehrt. Ich selbst habe öfters ein ähnliches Phänomen beobachtet, daſs nämlich bei Annäherung eines mit einer nicht zu groſsen Kugel versehenen metallenen Leiters, den ich in der Hand hielt, gegen den negativ elektrisirten Conductor des Reibzeugs von jener Kugel mehrere Aeste, die gleichsam die Krone eines Baumes vorstellten, hervorsprangen, die gegen den negativen Leiter convergirten, und dicht an demselben in einem Stamme sich vereinigten. Man sieht hieraus, daſs der van Marum'sche Beweis gegen die dualistische Theorie gänzlich über den Haufen fällt, denn es würde ganz willkürlich seyn, in dem einen Falle die Aeste als eine Divergenz, in dem andern als eine Convergenzbewegung anzunehmen.

Dieselbe Bewandtniſs hat es mit den el. Lichtphänomenen in der verdünnten Luft, an welchen die Franklinianer einen so augenscheinlichen Beweis der einseitigen Richtung der Bewegung von der positiven nach der negativen Seite zu besitzen glauben. Cavallo beruft sich besonders auf einen Versuch, wo zwei Metallstäbe mit Kugeln von etwa zwei Zoll Durchmesser in einer Entfernung von 4 Zollen oder noch besser etwas darüber einander unter einer Glocke gegenüberstehen, wo nach dem Exantliren sich nur um die positive Kugel ein Lichtschein zeigen soll, mag dieselbe unmittelbar positiv elektrisirt oder dadurch positiv seyn, daſs man die ihr gegenüberstehende Kugel negativ elektrisirt, welche letztere auch in diesem Falle nichts von einer leuchtenden Atmosphäre zeigt[1]. Hingen die el. Erscheinungen von zwei Materien ab, so müſsten um beide Kugeln sich leuchtende Atmosphären zeigen, wenigstens auf jeden Fall auch eine um die negativ elektrisirte Kugel. Mit dieser Angabe Cavallo's stimmen aber so wenig meine eigenen als die Versuche anderer Experimentatoren überein. Insbesondere hat Hildebrand[2] eine groſse Reihe von Versuchen angestellt, aus welchen hervorgeht, daſs zwar in der verdünnten Luft der Lichtnimbus und die Lichtströme sich vorherrschend von der positiven Kugel aus verbreiten, daſs aber auch an der negativen ein nur beschränkterer Lichtnimbus und Lichtaus-

1 Vollständige Abhandlung etc. S. 206. ff.

2 Schweigg. J. I. 237.

fluſs sich zeigt. Es findet in dieser Hinsicht im Wesentlichen ganz dasselbe Verhältniſs statt, wie zwischen den Lichtausbreitungen der positiven und negativen Spitzen. CAVALLO selbst bestätigt dieses in der Beschreibung der Lichterscheinungen, welche der leuchtende oder sogenannte Henly'sche Leiter darbietet[1], ja RÖSLIN will aus den el. Phänomenen in der verdünnten Luft gerade den *Gegenbeweis* führen[2]. Auf 10 Seiten hat indeſs dieser weitschweifige Schriftsteller zu den bereits von so vielen Beobachtern schon früher beschriebenen nichts Neues hinzugefügt, sondern nur wieder bestätigt gefunden, daſs ebensowohl aus einer negativ elektrisirten abgestumpften Spitze ein kegelförmiger violetter Lichtstrom ausgeht, als aus der positiven, daſs ersterer vielmehr ausgebreitet ist, als in Luft von mittlerer Dichtigkeit, daſs jedoch der positive Lichtstrom unter gleichen Umständen denselben an Länge bedeutend übertrifft, daſs, wenn der Abstand der Spitzen nicht zu groſs ist, und der eine Draht + der andere — elektrisirt wird, beide Ströme sich in der Mitte begegnen u. s. w. Bei einer unpartheiischen Würdigung der so mannigfaltigen Versuche über die el. Lichtströme gelangt man zu dem Resultate, daſs der Augenschein mehr für ein Ausströmen und Entgegenströmen von zwei Seiten her, als für ein einseitiges Ausströmen von einer einzigen Seite her spricht.

Es spricht ferner gegen die Franklin'sche Theorie die so vollkommene Gleichheit der Erscheinungen der Abstoſsung positiv und negativ el. Körper, welche augenscheinlich auf eine gleiche Ursache in beiden Fällen hinweiset, wie sie die dualistische Theorie in der, beiden Arten von E. gleichmäſsig zukommenden, Repulsivkraft aufstellt, während FRANKLIN zur Erklärung der wechselseitigen Abstoſsung negativ el. Körper ein ganz anderes Princip zu Hülfe nahm. Zwar hat VAN MARUM dieser Einwendung dadurch zu begegnen gesucht[3], daſs er diese Abstoſsung in beiden Fällen auf eine Anziehung zurückführte, indem die umgebenden Lufttheilchen, die in einem relativ negativen Zustande sich befinden, gegen das im Ueberschusse vorhandene el. Fluidum der positiv el. Körper, und somit gegen diese selbst, eine ähnliche Anziehung ausüben sollen, wie bei den negativ el. Körpern die relativ überschüssige

1 a. a. O. S. 201.

2 Kritische Prüfungen u. s. w. S. 51—61.

3 Schweigg. Journal der Ch. XXIX. 479.

E. der umgebenden Luft gegen die Materie dieser Körper ausübt; indefs kommt bei den positiv el. Körpern die eigene Repulsivkraft der Theilchen ihres el. Fluidums noch als eine zweite Ursache hinzu, die der Abstofsung in diesem Falle doch eine etwas andere Gestalt geben sollte. Hierzu kommt, dafs wenn man die Lehre von einer einzigen el. Materie zur genauen und der Berechnung fähigen Erklärung der Erscheinungen anwenden will, man durchaus mit *Aepinus* zu der sonderbaren Hypothese seine Zuflucht nehmen mufs, dafs die Theilchen der Körper sich einander auf Entfernung gerade wie die Theilchen der E. unter einander zurückstofsen, und dafs es nur von der Gegenwart des el. Fluidums herrührt, dafs die Theilchen aller Körper auf einander nicht eine der allgemeinen Gravitation entgegengesetzte Wirkung ausüben. Eben so wenig ist es aus der Theorie einer einzigen Materie, deren Theilchen von den Theilchen der Körper selbst angezogen werden, zu begreifen, warum die E. auf den Oberflächen der Leiter sich nach Verhältnissen verbreitet, die ganz unabhängig sind von ihrer chemischen Natur und ganz allein durch ihre Dimensionen bestimmt sind, warum ferner die negative E., die doch nur eine Beraubung, ein Mangel an E. ist, blofs auf der Oberfläche dieser Körper zum Vorschein käme, und in jedem Puncte dieser Oberfläche sich ganz in Gemäfsheit von strengen hydrostatischen Gesetzen verhalten sollte, von Gesetzen, welche ein wirkliches Fluidum befolgen würde, dessen Theilchen sich nach dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen zurückstofsen.

Dasselbe gilbt ferner auch von den besondern Modificationen der Verbreitung der beiden Elektricitäten auf den Oberflächen der Leiter nach Verschiedenheit ihrer Gestalt, wenn sie in Berührung kommen oder aus derselben treten, welche die Rechnung aus der Hypothese zweier Materien mit Genauigkeit entwickeln, und wovon Biot[1] interessante Belege liefert, während sich der Theorie *einer* Materie hierbei die gröfsten Schwierigkeiten entgegensetzen. Endlich scheinen noch besonders diejenigen Erscheinungen, in welchen die Körper mit ihren kleinsten Theilchen in ein Verhältnifs mit der E. treten, wie bei der Durchleitung eines el. Stroms durch Flüssigkeiten aller

1 S. a. a. O. vorzügl. Chap. 4 u. 5. S. 280.

Art in den Galvanischen Versuchen, auf ein verschiedenes chemisches Anziehungsverhältnifs dieser kleinsten Theilchen gegen die beiderlei Arten von E. hinzudeuten, was mit der Annahme, dafs die negative E. in einem blofsen Mangel besteht, nicht wohl vereinbar ist, wohin denn auch noch die Erscheinungen des specifischen Leitungsvermögens gewisser Körper für die beiderlei Arten von E. gehören, wovon unter *Galvanismus* und *Leiter* noch weiter die Rede seyn wird.

Eben wegen der grofsen Leichtigkeit, womit die mannigfaltigsten el. Erscheinungen nach der Theorie zweier Materien erklärt werden können, ist schon WILKE, der sonst in den Erklärungen dem Franklin'schen Systeme sehr glücklich folgte und zur weiteren Ausschmückung desselben beigetragen hat, seit seinen im Jahre 1762 und 1763 angestellten Versuchen [1] über die entgegengesetzten Elektricitäten mehr auf die Seite der Symmer'schen Theorie getreten, und hat sich nachher in seinen Abhandlungen über den Elektrophor [2] noch bestimmter dafür erklärt. Auch nahmen schon in früherer Zeit BERGMANN [3] KRATZENSTEIN [4] KARSTEN [5] und FORSTER [6] lieber zwei verschiedene el. Materien, als eine einzige an. LICHTENBERG schlug zwar vor, die Phänomene durch die Bezeichnungen + und — zu erklären, welche man nach beiden Systemen übersetzen kann, doch räumte er gleichfells dar Symmer'schen Theorie den Vorzug ein. Durch die Entdeckung des Galvanismus hat endlich die dualistische Theorie das entschiedenste Uebergewicht über die Franklin'sche erhalten. Die französischen, die meisten deutschen und englischen Physiker haben sich für dieselbe erklärt, doch glänzen auch noch auf Seiten der Unitarier einige grofse Namen, und schon die Autorität eines VOLTA, jenes ruhmbedeckten Nacheiferers von FRANKLIN würde sehr entscheidend seyn, wenn nicht die Macht der Gründe entgegenstände.

---

1 Schwed. Abhandl. Bd. 23. S. 271 und Bd. 25. S. 207 u. f.

2 S. ebend. Bd. 39. S. 68.

3 Ebend. für 1765 Bd. 27. S. 145.

4 Vorlesungen über die Experimentalphysik. Copenh. 1781. 8. S. 151.

5 Anleitung zur gemeinnützlichen Kenntnifs der Natur. Halle 1783. 8. S. 497.

6 S. v. Crell's neueste Entdeckungen in der Chemie 12 Bd. S. 154

IX. Vorstellungsarten der Physiker über das eigentliche Wesen der el. Materie und jetziger Standpunct der Elektricitätslehre in dieser Hinsicht.

In der letzten Abtheilung haben wir die Theorie der el. Erscheinungen nur im Allgemeinen und zunächst blofs aus dem Gesichtspuncte einer bewegenden Kraft betrachtet, um die Gesetze der Anziehung und Abstofsung, der Leitung, Vertheilung u. s. w. aus dem Wesen dieser Kraft nach den beiden Hauptansichten begreiflich zu machen. Aber eine Menge von Verhältnissen bleiben noch zu erklären, die nur dadurch klar werden können, dafs auch das Specifische dieser Kraft etwas näher bestimmt wird. Wovon hängen die Geruchs - die Geschmacks -, die Wärme - und Lichtserscheinungen ab, die in so vielen Fällen jene el. Bewegungen begleiten; wie wird das Hervortreten bald der negativen, bald der positiven E. durch die Beziehung der besondern Natur der Körper auf das innere Grundwesen der E. und auf das Verschiedene in diesem Grundwesen zweier Elektricitäten bestimmt; welchen Antheil haben die übrigen Inponderabilien an der Entstehung und Zusammensetzung der E.; in welcher Verwandtschaft und Abhängigkeit stehen sie überhaupt mit und von einander; wie hat man sich das 0 zu denken, welches nach der dualistischen Theorie aus zwei Realitäten, aus einem eben so positiven — als positiven + besteht u. s. w., alles das sind Fragen und Aufgaben, die sehr frühzeitig den Scharfsinn der Physiker in Anspruch genommen haben, und worüber die Hypothesen viel mannigfaltiger und von einander abweichender ausfallen mufsten, als jene allgemeinen Bestimmungen, die nur zwei Partheien zuliefsen. Zur Vervollständigung dieses die E. überhaupt betreffenden Artikels wird es daher nothwendig seyn, von diesen verschiedenen Theorien, soferne sie durch den Namen des Erfinders und ihren innern Gehalt Anspruch auf ein allgemeines Interesse haben, wenigstens die Hauptumrisse zu geben, und sie mit wenigen Noten kritisch zu beleuchten.

Die ältesten Beobachter hielten die el. Materie für einen *ölichten Ausflufs* aus den Körpern selbst; als man aber ihr Licht, ihren Funken, ihre zündende Kraft u. s. w. bemerkte, war es sehr natürlich, sie dem *Feuer* ähnlich zu finden, und daher kommt die Benennung des el. Feuers, welche bei den

physikalischen Schriftstellern seit Gray's Zeiten so gewöhnlich geworden ist. So sehr nun verschiedene Wirkungen der E. mit den Wirkungen des Feuers übereinstimmen, so könnte doch auch selbst dem oberflächlichen Beobachter die Verschiedenheit zwischen diesen beiden Kräften nicht entgehen, auch wenn er nur darauf Rücksicht nahm, daſs oft in den Körpern viel Feuer oder Wärme anzutreffen ist, ohne daſs sie einen eigentlichen Grad der E. zeigen, daſs das Feuer durch alle bekannte Körper hindurch dringt und sich nach gewissen Verhältnissen der besondern Natur dieser Körper durch ihre ganze Masse verbreitet, da hingegen die freie el. Materie die längsten Leiter mit einer auſserordentlichen Geschwindigkeit durchströmt, daſs endlich die el. Materie Anziehungs- und Abstoſsungs Erscheinungen aus der Ferne hervorbringt, die in der Sphäre der Feuer - oder Wärmeerscheinungen ganz fehlen.

Achard [1] hat jedoch mehr die Aehnlichkeiten der E. mit der Wärme als ihre Verschiedenheiten aufgefaſst, und in einer eigenen Abhandlung zusammengestellt. Er bemerkt, daſs alles Reiben sowohl E. als Wärme errege, daſs Wärme sowohl als E. die Körper ausdehne, die Vegetation und Ausdünstung befördere und den Umlauf des Bluts beschleunige, daſs beide das Ausbrüten der Eier bewirken, Metalle schmelzen und sich gleichförmig durch die Körper zu verbreiten streben, daſs endlich eben die Körper, welche die Wärme am schnellsten annehmen und verlieren, auch die E. am schnellsten annehmen und leiten. Wie manches Irrige indeſs in dieser Zusammenstellung liege, ergiebt sich aus einer Vergleichung mit den bisher mitgetheilten Erfahrungen.

Dr. Priestley [2] findet, daſs der el. Funke, wenn er in verschiedene Luftgattungen geht, einerlei Wirkungen mit einem zugesetzten Phlogiston hervorbringe, und nimmt diesem gemäſs an, daſs die el. Materie entweder das *Phlogiston* selbst sey oder dergleichen enthalte. J. F. Mayer [3] hält dagegen seine fette Säure für den Hauptbestandtheil der el. Materie, die

---

1 Mém. de l'academie de Prusse 1779.

2 Observ. on different Kinds of air. Vol. II. Sect. 13.

3 In seiner zu ihrer Zeit nicht uninteressanten Schrift: Chemische Versuche zur nähern Erkenntniſs des ungelöschten Kalks, der elastischen und el. Materie 2. verb. Aufl. Hannover 1770.

beim Reiben des Glases, das einen ansehnlichen Vorrath davon enthalte, aus demselben heraustrete. Beide Ansichten beruhten auf chimärischen Vorstellungen, die längst widerlegt sind, und trugen auch damals nichts zur weitern Aufklärung der Elektricitätslehre bei. Henly [1] sieht die el. Materie für eine besondere Modification eben desjenigen Grundstoffes an, der im Zustande der Ruhe *Phlogiston*, bei gewaltsamer Bewegung aber *Feuer* genannt werde. Er beruft sich darauf, daſs beim Reiben solcher Körper, welche verschiedene Mengen von Phlogiston enthalten, diejenigen, welche viel Phlogiston enthalten (z. B. vegetabilische Materien) die el. Materie abgeben, d. h. negativ el. werden, daſs hingegen diejenigen, welche wenig Phlogiston enthalten (z. B. animalische Materie) el. Materie annehmen, d. i. eine positive E. erhalten. Henly hat zahlreiche Versuche angestellt, welche zu diesem Resultate führten [2]. Da indeſs die bloſse Abänderung der Oberfläche eines Körpers sein el. Verhalten beim Reiben ändert, so ist kaum abzusehen, wie der gröſsere oder kleinere Gehalt von Phlogiston, wenn man auch diesen bloſs hypothetischen Stoff zugeben wollte, den negativen oder positiven Charakter eines Körpers bestimmen solle. Auch steht dieser Ansicht der Umstand entgegen, daſs in der wechselseitigen Berührung gerade die am meisten verbrennlichen oder am meisten oxydirbaren Metalle, die also in Henly's Vorstellungsart am meisten Phlogiston enthalten, die positiven sind. Endlich giebt diese Theorte, die nur *eine* el. Materie annimmt, keine Rechenschaft von den specifischen Eigenschaften der negativen E.

Alle diejenigen Physiker, welche zwei verschiedene el. Materien annahmen, muſsten von selbst darauf geführt werden, Gegensätze, welche sich auch sonst in der Natur in andern Processen und zwischen andern Materien zeigen, zur Aufklärung des el. Gegensatzes zu gebrauchen und in den el. Materien gleichsam eine Potenzirung und Verfeinerung dieser Gegensätze zu suchen. So nimmt zuerst Wilke in den beiden el. Materien einen Gegensatz zwischen Feuer und Säure an, und hat auch in seinen oben angeführten Abhandlungen statt der Bezeichnungen + E und — E stets die Namen Feuer und Säure

---

1 Cavallo vollst. Abh. I. Bd. S. 108.

2 Philos. Transact. für das Jahr 1777.

gebraucht. Doch lag hierin nur eine Ahnung, die erst die neusten Zeiten zur Reife bringen konnten. Dieselbe Bewandnifs hat es mit KRATZENSTEINS damit verwandter Vorstellungsart[1]. Er nennt + E die acide, — E die phlogistische E. und leitet alle el. Erscheinungen von Dunstkreisen her, die aus feinen Theilen des Acidums und des Phlogistons, d.i. aus schwefligen und phosphorischen Ausflüssen bestehen, die aus den Körpern herausgetrieben und in eine zitternde Bewegung versetzt werden. LICHTENBERG[2] giebt von dieser Theorie einen sehr lehrreichen Auszug mit seinen Bemerkungen begleitet. KARSTEN[3] nimmt den Stoff der + E für reine, mit Elementarfeuer gesättigte, Luft, den des — E für das an eine zarte Säure gebundene Phlogiston, und erklärt hieraus die Hauptgesetze der E. sinnreich in völliger Uebereinstimmung mit CRAWFORD's Theorie der Verbrennung, Er glaubte das Daseyn jener 4 Materien unwidersprechlich in dem Conflicte der beiden el. Materien nachweisen, und diesen Conflict selbst genügend aus der wechselseitigen Anziehung dieser Materie begreiflich machen zu können. Beim el. Funken zieht seiner Erklärung zufolge das Feuer die Säure, die Luft das Phlogiston an; alle diese Stoffe verlassen ihre vorigen Verbindungen, das Feuer vom Phlogiston getrennt, wird frei und als ein Funken sichtbar, die Säure röthet die Lakmustinctur, und die Luft wird plogistisirt. Schade dafs neuere genaue Untersuchungen zu einer ganz andern Ableitung dieser Erscheinungen geführt haben, da nicht eine der E. inhärirende Säure, sondern die Salpetersäure, die sich durch Verbindung des Stickstoffs der Luft, durch welche der Funken schlägt, mit dem Sauerstoff derselben bildet, die Röthung der Lakmustinctur bewirkt, die eingebildete Phlogistication auch weiter nichts als auf einer Bindung des vorher freien Sauerstoffs in der gebildeten Salpetersäure beruht, womit nothwendig ein Uebergewicht von Stickgas (damals sogenannter phlogistisirter Luft) in der rückständigen Luft gegeben ist, endlich der Funken, so wie er sich darstellt, mit gewöhnlichem Feuer nicht zu verwechseln ist.

---

1 Vorles. über die Exper. Phys. 4. Aufl. Copenh. 1781. 8.
2 Magazin für das Neueste aus der Physik. I. Bd. 4 St. S. 113.
3 Anl. zur gemeinnützigen Kenntnifs der Natur §. 497.

Ohngefähr auf dieselbe Weise äufsert sich FORSTER[1], indem er das + E für Feuer oder Wärme, das — E für Brennbares oder Phlogiston erklärt. Indem aber FORSTER in seinen einleitenden Bemerkungen zu dieser Hypothese der damals herrschenden Crawford'schen Verbrennungstheorie gemäfs das Phlogiston und die Wärmematerie (das Feuer) als zwei einander entgegengesetzte Grundstoffe betrachtet, die sich wechselseitig aus den Körpern austreiben, so steht offenbar diese Hypothese mit allen el. Phänomenen, welche vielmehr eine grofse wechselseitige Anziehung der beiderlei Elektricitäten beweisen, in geradem Widerspruche, wozu dann noch kommt, dafs gar nicht abzusehen ist, warum dieselbe Wärmematerie, die sonst die Körper durchdringt, hier als positive E. sich nur längs ihrer Oberfläche verbreitet und anhäuft, ohne in ihr Inneres einzudringen.

Bedeutender ist DE LÜC's Theorie der el. Phänomene, da sie nicht blofs in einer vagen, mehr allgemein gehaltenen, Idee besteht, sondern von dem sinnreichen Verfasser auf die Erklärung der wichtigsten el. Phänomene mit Genauigkeit angewandt worden ist, und im eigentlichsten Verstande nur einen Zweig eines weit ausgebreiteten Systems ausmacht, welches jener Physiker über die Erscheinungen der sämmtlichen ausdehnbaren Flüssigkeiten entworfen, und auf die mechanisch-physischen Grundsätze seines berühmten Lehrers LE SAGE in Genf gegründet hat. Diese Grundsätze, welche alles auf Stofs und Bewegung zurückführen, haben freilich ein sehr cartesianisches Ansehen, und können dem unbefangenen Physiker, dem es nach NEWTON's Beispiele mehr um erwiesene Thatsachen und Gesetze, als um willkürliche Hypothesen, die in ihren Voraussetzungen über die Grenze unserer unmittelbaren Wahrnehmung hinausgehen, kein grofses Interesse einflöfsen. Inzwischen ist nicht zu leugnen, dafs DE LÜC durch eben diese mechanische Physik oft auf sehr scharfsinnige und bisweilen auffallend glückliche Erklärungen schwieriger Phänomene geleitet wird — noch mehr, es ist sonderbar, dafs seine aus einem so ganz mechanischen Anfange hergeleiteten Theorien dennoch eine für die chemische Untersuchung ungemein günstige Wen-

---

1 Crell's neueste Entdeckungen. 12 Bd. S. 154.

2 Vergl. *Flüssigkeiten, expansible.*

dung nehmen. In dieser Hinsicht hat auch die de Lüc'sche Ansicht der E. ihren unverkennbaren Werth, indem sie Zersezzung und Zusammensetzung des el. Fluidums zu Hülfe nimmt, und eine Betrachtung der Erscheinungen in dieser Beziehung vielleicht zu einer nähern chemischen Kenntnifs dieses räthselhaften Stoffs führen kann, ohne welche die wichtigsten Beziehungen der el. Thätigkeit in den Natur-Processen, besonders in den galvanisch-chemischen, stets im Dunkel begraben bleiben werden.

Die Hauptidee der De Lüc'schen Hypothese [1] ist, dafs er zwar nur *eine* el. Materie annimmt, diese aber als eine zusammengesetzte betrachtet und in den el. Phänomenen sich einerseits zersetzen, andererseits wieder aus ihren Bestandtheilen zusammensetzen läfst, wodurch er gleichsam in der Mitte zwischen dem Franklin'schen und dualistischen Systeme steht. Diese eine el. Materie sieht er als eine zur Classe der Dämpfe oder Dünste gehörige an, bei welcher sich also alle diejenigen Bestimmungen nachweisen lassen müssen, welche für die Dünste im allgemeinen gelten; und da die Natur des Wasserdampfes in dieser Hinsicht am meisten aufgeklärt ist, so sucht DE LÜC durch eine durchgreifende Vergleichnug der el. Meterie mit dem Wasserdampfe nach allen Praedicamenten auch die Natur der ersteren in ein helleres Licht zu stellen. Daraus ergeben sich nun folgende Sätze:

1. Das el. Fluidum besteht wie der Wasserdampf aus einem *fortleitenden* (gleichsam expandirenden) *Fluidum* (fluide déferent), das er das el. fortleitende Fluidum nennt, und aus einer *blofs schweren Substanz* der eigentlich el. Materie.

2. Es zersetzt sich eben so wie der Wasserdampf durch Druck (den es gleichsam auf sich selbst ausübt), wenn es eine allzugrofse, sein Maximum überschreitende, Dichtigkeit erhält, wo alsdann sein fortleitendes Fluidum frei wird. Auf dieser Eigenschaft beruht die Erscheinung des el. Lichtes, welches

1 Neue Ideen über die Meteorologie. Berl. und Settin 1787. 1. Thl. S. 186. ff. nach welcher hier die Hauptsache kurz mitgetheilt wird. Vergl. auch Lampadius Versuche und Beobachtungen über die E. und Wärme der Atmosphäre, Berl. und Stettin 1793. Kap. II. §. 20 u. f.; ferner de Lüc's 5ten Brief an Herrn de la Métherie über das el. Fluidum in Gren's Journal der Physik IV. Band S. 91. und De Lüc Introduction à la Physique terrestre Tome. I. II.

als ein Bestandtheil des frei werdenden fortleitenden Fluidums bei der Zersetzung hervorgeht, eben so wie das Licht (das fortleitende Fluidum in der Wärme) beim Verbrennen (durch eine Zersetzung des sehr verdichteten Wärmedampfs) zum Vorschein kommt.

3. Das Feuer als fortleitendes Fluidum des Wasserdampfs verläfst das Wasser in Folge seines Strebens nach gleichförmiger Verbreitung (nach gleicher Temperatur). Eben so, nur weit schneller, verläfst das fortleitende el. Fluidum die el. Materie, um zu den Körpern hinzuströmen, welche verhältnifsmäfsig weniger davon besitzen.

4. So wie das Feuer der Wasserdämpfe alle Körper durchdringt, um sich ins Gleichgewicht zu setzen, und sein Wasser auf der Oberfläche derselben absetzt, eben so, aber augenblicklich, durchdringt das el. fortleitende Fluidum alle Körper, um sein Gleichgewicht wieder herzustellen und setzt gleichfalls seine el. Materie auf den Körpern ab, die es durchdringt, aber mit einem auf der Natur der Substanzen, beruhenden Unterschiede.

5. Gebundenes oder latentes Feuer und Wasser in den Dünsten geben sich nicht mehr durch ihre vorigen Eigenschaften zu erkennen, äufsern aber dennoch ihre Verwandtschaften, wodurch sie die hygroskopischen Erscheinungen erzeugen. Auch die Bestandtheile des el. Fluidums behalten bei ihrer Verbindung ihren Hang und ihre Verwandtschaften zu andern Substanzen, welches die Ursache der meisten el. Erscheinungen ist.

6. Das Wasser und die el. Materie, die vorzüglich ihre Verwandtschaften behalten, sind einander auch darin ähnlich, dafs so wie das Wasser diese Verwandtschaft in den hygroskopischen Phänomenen ohne Wahl äufsert, eben so auch die el. Materie ohne Wahl ihre Verwandtschaft zu andern Substanzen zeigt.

7. Wenn das Feuer eine Masse von Wasserdünsten verläfst, um das Gleichgewicht der Temperatur wieder herzustellen, so bleibt dennoch etwas an dem Orte, wo das meiste dieser Dünste ist, aber ein Theil dieses Fluidums wird latent; ebenso, wenn das Gleichgewicht des fortleitenden el. Fluidums in den benachbarten Körpern wieder hergestellt ist, enthalten diejenigen, welche verhältnifsmäfsig mehr el. Materie haben, das meiste von diesem fortleitenden Fluidum, aber dieser Ueberschufs ist gleichfalls in dem el. Fluidum verborgen.

8. So wie die ausdehnende Kraft zweier Massen von Wasserdämpfen im Gleichgewicht seyn kann, obgleich die eine weniger Wasser als die andere im Verhältniſs mit ihrem Volumen enthält, wenn bei letzterer zugleich die Menge des Feuers gröſser ist, eben so kann die ausdehnende Kraft (die Intensität oder Spannung) zweier Massen des el. Fluidums im Gleichgewichte seyn, obgleich die eine eine geringere verhältmäſsige Menge el. Materien besitzt, wenn nur zu gleicher Zeit die Menge ihres fortleitenden Fluidums gröſser ist. Die vorzüglichsten *Unterschiede*, worin das el. Fluidum von den Wasserdämpfen abweicht, sind folgende:

1. das Feuer, welches die Wasserdämpfe verläſst, um das Gleichgewicht der äuſseren Temperatur herzustellen, wird nicht durch andere Substanzen angezogen, sondern dehnt sich so lange aus, bis es im Gleichgewichte ist. Das el. fortleitende Fluidum hingegen, welches seine el. Materie verläſst, wird zu dieser Bewegung durch seinen Hang zu allen Substanzen bestimmt, und weil in diesem Augenblicke eine benachbarte weniger davon besitzt, als diejenige, wovon es sich trennt.

2. die Verwandtschaft des Wassers, wodurch eine Zersezzung des Wasserdampfes bewirkt wird (oben N. 6), bezieht sich nur auf die hygroskopischen Substanzen, statt daſs die analoge Verwandtschaft der el. Materie alle Substanzen betrifft, selbst die Dämpfe und luftförmigen Flüssigkeiten.

3. Die Verwandtschaft des Wassers gegen hygroskopische Substanzen äuſsert sich nur dann, wenn es dieselben berührt, die el. Materie hingegen äuſsert ihren Hang zu allen Substanzen schon in Entfernungen, welche nach der verschiedenen Beschaffenheit der Körper verschieden sind.

4. Da jede el. Lichtentwickelung nach de Lüc von einer Zersetzung der E. abhängt, dessen fortleitendes Fluidum frei wird, so liegt zwischen beiden auch darin eine Verschiedenheit, daſs das el. Fluidum durch die bloſse Ausbreitung im leeren Raume sich zersetzt, ohne daſs man hierbei einen Druck, den es in Folge der Verdichtung auf sich selbst ausübt, annehmen könnte, während die Wasserdämpfe sich unter sonst gleichen Umständen im leeren Raume nicht anders wie im lufterfüllten Raume verhalten.

De Lüc hat diese allgemeine Theorie sehr sinnreich auf die Erklärung der wichtigsten Wirkungsformen der E. ange-

wandt, insbesondere der Erscheinungen der Vertheilung und der davon abhängigen verstärkten E. in dem Vorgange der Ladung [1]. Im Allgemeinen erklärt er die Erscheinungen der el. *Wirkungskreise*, oder wie er sie nennt, der el. *Einflüsse*, von welchen die Vertheilung abhängt, auf folgende Weise. Positive und negative E. unterscheiden sich durch verhältnifsmäfsigen Ueberflufs und Mangel an el. Materie bei übrigens gleicher ausdehnender Kraft, oder positive E. ist das Analogon von dichterem Wasserdampf, der also, bei gleichen Volumen mehr von der schweren Materie hat, als der dünnere Wasserdampf, welcher mit der negativen E. überein kommt, und um jenem das Gleichgewicht zu halten, eine gröfsere Menge fortleitendes Fluidum besitzen mufs. Doch kann nach seinem System ein Körper auch dadurch positiv el. werden, dafs sich überhaupt mehr el. Fluidum an seiner Oberfläche angehäuft hat, als seinem natürlichen Zustande zukommt. Wenn nun in den Wirkungskreis des positiv elektrisirten Leiters P C der isolirte Leiter A B kommt, so wird sein fortleitendes Fluidum in derselben überströmen nach dem allgemeinen Gesetze des Strebens desselben nach Gleichgewicht, aber das Ende A ist dieser Wirkung mehr als B ausgesetzt, daher wird die dem Leiter A B eigene el. Materie bei A mehr ausdehnende Kraft als bei B erhalten; da aber hier nichts ist, was sie hinderte, sich ins Gleichgewicht zu setzen, so wird sie sich so vertheilen, dafs die ausdehnende Kraft durch die ganze Länge A B gleich grofs ist, woraus dann nothwendig folgt, dafs bei A mehr fortleitendes Fluidum und weniger Dichtigkeit der el. Materie, bei B hingegen weniger fortleitendes Fluidum und mehr Dichtigkeit der Materie Statt finden mufs. Daher zeigt unter diesen Umständen A, — E; B, + E. Um diesen Vorgang durch die Analogie mit den Wasserdämpfen noch deutlicher zu machen, vergleiche man A B mit Wasserdämpfen in einem verschlossenen Gefäfse, die von C aus durch ein heftiges Feuer erhitzt werden. Anfangs werden die Dämpfe durch den ganzen Raum A B gleichförmig verbreitet seyn. Wenn aber nun das Feuer von C her wirkt, so wird das Ende A heifser als B, und die Dämpfe in A erhalten mehr Elasticität. Sie dehnen sich also aus, und drükken dagegen die in B mehr zusammen, so dafs sich bei A we-

Fig. 34.

1 Vergl. *Flasche, elektrische.*

niger, bei B mehr Dichtigkeit oder Wasser (schwere Materie) befindet, die Hitze aber umgekehehrt bei A grösser als bei B ist. In diesem Zustande ist bei A mehr Trockenheit (—E), bei B mehr Flüssigkeit (+E) anzutreffen, die Elasticität ist aber gleich groſs an allen Stellen des ganzen Gefäſses A B. Nach diesen Begriffen besteht die ganze Erscheinung der el. Wirkungskreise in dem Ueberströmen oder der Fortpflanzung des el. fortleitenden Fluidums, welches sich eben so, wie der freie Wärmestoff, durch alle Körper bis zu einem gewissen Gleichgewichte zu vertheilen strebt, und die schwere el. Materie vermöge seiner Verwandtschaft da mit sich nimmt, wo sie frei ist, oder schwächer zurückgehalten wird, da aber zurückläſst, wo sie durch ihre Verwandtschaft stärker an andere Körper gefesselt ist. Weil das Medium dieser Fortpflanzung gemeiniglich die Luft ist, so hat diese auf die Erscheinungen der Wirkungskreise allerdings einen bedeutenden Einfluſs, denn ein jeder Körper besitzt z. B. nur insofern +E, als er einen Ueberschuſs an el. Materie in Vergleichung mit der umgebenden Luft hat, und insofern —E, als er in Vergleichung mit eben dieser Luft an el. Materie Mangel leidet. Dieser Einfluſs oder diese Mitwirkung der Luft, oder überhaupt des umgebenden Mediums äuſsert sich nun ganz besonders bei den durch die E. veranlaſsten Bewegungen der wägbaren Körper, und nur durch Hülfe desselben kann das de Lüc'sche System Rechenschaft davon geben, die uns indeſs nicht vollkommen genügend scheint, wenn gleich de Lüc durch eine groſse Menge mannigfaltig abgeänderter Versuche [1] und sehr scharfsinniger Erörterungen derselben gerade von dieser Seite seine Theorie in ein besonders günstiges Licht zu stellen vermeint hat.

Das Eigenthümliche und Unterscheidende der de Lüc'schen Erklärung liegt darin, daſs derselbe keine Repulsivkraft zu Hülfe nimmt, sondern alles auf bloſse Anziehung und zwar in den meisten Fällen auf eine solche, die auf das umgebende Mittel gerichtet ist, zurückführt. Um diese Erklärung gehörig zu begreifen und zu würdigen, muſs man von dem Hauptsatze ausgehen, daſs diese Anziehungen einzig an die Menge der (vom el. Fluidum wohl zu unterscheidenden) el. Materie, welche die Körper besitzen, gebunden sind. Die el. Materie, die

---

1 Im dem VII. Abschnitte. Von den el. Bewegungen.

einem Körper zugehört, widersteht nämlich der Trennung von demselben, obgleich sie fortfährt, sich nach andern Körpern, die davon weniger besitzen, *hinzuneigen*, jedoch geschieht dieses in einigem Verhältnisse mit der Entfernung schwächer. Der positive und der negative Zustand der Körper mit Beziehung auf das umgebende Mittel, das selbst nicht aus seinem natürlichen Zustande getreten ist, sofern beide Bewegungen veranlassen, beziehen sich nicht auf das ganze el. Fluidum, sondern auf die el. Materie, welche einen Theil davon ausmacht, oder anders ausgedrückt, sie zielen nicht auf den Grad der *ausdehnenden Kraft* des el. Fluidums, welche nach DE LUC nur von dem Verhältnisse des fortleitenden Fluidums abhängt, sondern nur auf die Dichtigkeit, d. h. die verhältnifsmäfsige Menge, der el. Materie an einer gegebenen Oberfläche, und die mannigfaltigen Modificationen der von der E. abhängigen Bewegungen frei beweglicher Körper, welche von einander divergiren, oder zusammenfallen und sich aus Entfernungen anziehen, sind stets den Veränderungen proportional, welche die Dichtigkeit des el. Fluidums in den Körpern selbst erleidet in Vergleich mit der wirklichen Dichtigkeit des el. Fluidums in dem umgebenden Mittel. Wenn also zwei frei bewegliche Körper, noch unbeweglich, weil sie in demselben el. Zustande mit dem umgebenden Mittel sind, eine gleiche Menge el. Fluidums erhalten oder verlieren, so könnte diese Veränderung des Zustandes an und für sich und bei ihnen allein betrachtet, noch keine Ursache der Bewegung seyn, weil diese Körper, was die Menge der el. Materie betrifft, immer im Gleichgewichte bleiben; wenn man sie aber als von Luft umgeben ansieht, so findet man alsdann eine Ursache der Bewegung. Die Lufttheilchen, welche die Seiten berühren, die die Körper einander gegenseitig zukehren, haben eine doppelte Ursache der Modification, weil diese *beiden* Seiten dazu beitragen, diese Theilchen empfangen oder verlieren, also doppelt el. Materie erhalten, anstatt dafs die Lufttheilchen, welche an ihre entgegengesetzten Seiten anstofsen, hier nur durch jede dieser Seiten für sich allein modificirt werden. Der Zustand eines jeden dieser beiden Körper ist also dieser: Auf einer seiner Seiten befindet sich der andere Körper und die Luft dazwischen, wovon jener, und die Luft nahe dabei, in demselben el. Zustande mit ihm ist, während auf der entgegengesetzten

Seite die Luft nur schwach durch ihn selbst modificirt wird; folglich strebt jeder Körper mehr gegen diese äufsere Seite als gegen die innere durch Anziehung, in dem einen Falle, bei negativ elektrisirten Körpern wegen des Uebergewichts der el. Materie der Luft, in dem andern Falle, bei positiv elektrisirten Körpern wegen des Uebergewichts ihrer el. Materie, und dadurch entfernen sie sich von einander (scheinbares Abstofsen gleichartig elektrisirter Körper nach dem ersten Fundamentalgesetze der el. Bewegungen.) Ist einer der beiden Körper positiv, der andere negativ el., so haben sie unmittelbar in sich selbst eine Ursache der Bewegung, nämlich den Mangel des Gleichgewichts der el. Materie unter ihnen. Die Luft setzt aber hier eine neue Ursache hinzu, denn jeden der beiden Körper modificirt sie auf der äufsern Seite nach seinem besondern Zustande, statt dafs auf der innern Seite einer die Wirkung des andern zerstört, daher streben sie um so weniger sich gegen die auswendige Luft zu bewegen, und um so vielmehr gegen die innere. Dieses vermehrt ihren Hang gegen einander, und sie nähern sich (zweites Gesetz: ungleichartig elektrisirte Körper ziehen sich an). Was den dritten Hauptfall betrifft, wo nämlich nur einer der Körper elektrisirt ist, wo also der andere im Zustande des Mediums verbleibt, so müssen sie sich eben dieser Theorie zufolge schwach gegen einander bewegen, weil die el. Materie nicht unter ihnen im Gleichgewichte ist, und die Luft, indem sie denselben Zustand um den el. Körper umher annimmt, nichts in der unmittelbaren Ursache ihres Hanges ändert, aber eben darum, weil die Luft nichts hinzusetzt, kann dieser Hang nur schwach seyn. In der Wirklichkeit ändert sich jedoch dieser Fall nach dem Gesetze der *el. Einflüsse* in den Dritten um, indem der nicht elektrisirte Körper, vorzüglich wenn er ein Leiter ist, sich auf eine entgegengesetzte Art an seiner entgegengesetzten Oberfläche verändert, und er sich alsdann bewegt, weil sein Theil, der dem elektrisirten Körper am nächsten ist, sich mehr bestrebt, ihm sich zu nähern, als der entgegengesetzte Theil sich davon zu entfernen.

Noch hat de Lüc in eben diesem Abschnitte seine Theorie auf die Erklärung einiger sonderbaren el. Bewegungen angewandt, die dem ersten Anscheine nach so wenig aus der Franklin'schen als der dualistischen in ihrer gewöhnlichen Gestalt begreiflich sind, wobei aber de Lüc selbst in Irrthümer verfallen

ist. Ich will einen dieser Versuche hier kritisch beleuchten, weil er zugleich dazu dient, DE LÜC's Theorie in ein noch helleres Licht zu setzen. Mit einer auf einem isolirenden Fuſse vertical aufgerichteten metallenen Scheibe B von etwa 8 Zoll im Durchmesser befinden sich an ihrer vordern und hintern Fläche zwei Paar Elektrometer verbunden, deren Kugeln von hohlem Metallblech von etwa 2″ Durchmesser von isolirenden Armen getragen werden, die sie in der Höhe des Mittelpunctes der Scheibe halten, an Trägern in einer mit der Ebene der Scheibe parallelen Ebene frei beweglich, die vordern überdieſs noch durch lackirte Glasstäbchen, von denen sie getragen werden, isolirt, aber mit der andern Fläche der Scheibe B in unmittelbarer leichter Berührung, die hintere an Strohhälmchen aufgehängt, in einer geringen Entfernung von der hintern Fläche der Scheibe, aber durch einen Metalldraht mit dem obern Rande derselben verbunden. Nähert man nun der Scheibe B die sich mit ihren zwei Paar Elektrometern im natürlichen Zustande befindet, eine gleichfalls isolirte Scheibe A in gleicher Höhe der Mittelpuncte in paralleler Richtung mit B, welche stark positiv elektrisirt ist, so divergiren die beiden Paar Kugeln, und zwar nach DE LÜC's Behauptung die vordern mit negativer, die hintern mit positiver E. Berührt man die vordern Kugeln, so geben sie einen eben so starken Funken als jeder andere Theil ihrer Gruppe (nämlich der Scheibe B mit ihren Elektrometern), und zwar divergiren sie alsdann noch mehr, weil sie negativer geworden sind, und sie fahren fort zu divergiren, ob man sie gleich in Verbindung mit dem Boden durch kleine leitende Drähte setzt, die ihre Bewegung nicht hindern. In dem Augenblicke, daſs man den Funken aus den vordern Kugeln, oder aus jedem andern Theile der Gruppe, nimmt, fallen die hintern Kugeln zusammen, und divergiren von neuem, weil sodann die ganze Gruppe negativ geworden ist. In diesem Augenblicke ist die ausdehnende Kraft der el. Flüssigkeit aller Theile der Gruppe auf einerlei Grade mit der des el. Fluidums im Boden, denn welchen Theil der Gruppe man auch berührt, wird in seinem Zustande nichts geändert. Inzwischen divergiren die beiden Paar Kugeln, weil die gesammte Dichtigkeit des Fluidums der Gruppe geringer ist, als die des el. Fluidums des Bodens und umgebenden Mittels, und eines divergirt mehr als das andere, weil dieser Unterschied der Dichtigkeit bei dem einen

größser ist, als bei dem andern. Hier verwechselt aber de Lüc zwei Wirkungen, die ganz verschiedene Ursachen haben. Das vordere Paar Kugeln divergirt offenbar durch die unmittelbare Wirkung der Scheibe A, die mit ihren ausgebreiteten Seitentheilen ein Uebergewicht über die Mitte, welcher die Kugeln gegenüber stehen, ausübt, und also die Kugeln so weit von einander entfernt, bis die Anziehungen nach allen Seiten hin im Gleichgewichte mit einander stehen. Eben darum hat es nichts Auffallendes, dafs diese Divergenz auch noch fortdauert, wenn diese Kugeln durch leitende Fäden mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt werden, während es mit allen Versuchen in directem Widerspruche steht, dafs die Divergenz zweier gleichnamig el., und zunächst nur durch ihre eigene E. aus einander gehaltener Körper fortdaure, wenn eine Verbindung zwischen ihnen und dem Erdboden eingeleitet wird. Auch streitet es mit allen anerkannten el. Erfahrungen, dafs die Körper, die bereits negativ el. sind, wenn ihnen ein mit dem Erdboden verbundener Leiter genähert wird, durch den zwischen ihnen überschlagenden Funken noch *negativer* werden sollten, wie de Lüc von dem vordern Paare von Kugeln voraussetzt. Es findet hier allen Versuchen zufolge keine andere Wechselwirkung statt, als eine Verminderung des negativen Zustandes durch einen positiven Funken. Allerdings geben die Kugeln in jenem Versuche einen Funken, weil sie mit der ganzen Gruppe in leitender Verbindung stehen, die sich an jedem Puncte der von der positiven Scheibe A frei gemachten und in Spannung versetzten positiven E. zu entledigen sucht, und da die vordern Kugeln zugleich die mehr nach ihrer äufsern Seite zurückgetriebene positive E., welche der Anziehung von den Seitentheilen der Scheibe A entgegenwirkte, in diesem Funken mit verlieren, so können sie dann von jenen Seitentheilen noch etwas mehr nach Aufsen gezogen werden, d. h. ihre Divergenz mufs etwas zunehmen. Dafs die hintern Kugeln im Augenblicke, da die Gruppe berührt wird, zusammenfallen, ist eine nothwendige Folge der Entziehung (oder Ausgleichung) ihrer positiven E., durch welche sie vorher divergirten, dafs sie aber dann nachher wieder, wenn gleich schwächer als die vordern Kugeln, divergiren, ist abermals blofs eine Wirkung der Anziehungskraft der positiven Scheibe A, welche gleichfalls wegen der gröfseren Ausbreitung ihrer Seitentheile diese Kugeln etwas seitwärts zie-

hen mufs, aber freilich in geringerem Grade, al das vordere Paar, weil ihre Wirkung aus gröfserer Entfernun auf sie ausgeübt wird. So sind also alle Modificationen diese Bewegungen aus der von uns oben entwickelten Theorie vol ommen begreiflich, und man hat nicht zu jenen aufserordentl hen Annahmen seine Zuflucht zu nehmen, die mit allen Vers hen im Widerspruche stehen, dafs Körper, welche durch eig e E. divergiren, diese Divergenz auch noch behaupten, we sie gleich mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetz werden.

Ueberhaupt stellen sich der de Lüc'schen The ie, so sinnreich sie auch die Analogie der Wasserdämpfe an ewandt hat, aus dieser selbst nicht unerhebliche Schwierigkeit n entgegen. Wenn in ein verschlossenes Gefäfs voll Wasserdä pfe, womit DE Lüc einen Leiter vergleicht, neue Feuermater e einströmt, so findet allerdings im ersten Augenblicke ein Unt rschied der Dichtigkeit bei gleicher ausdehnender Kraft in den verschiedenen Theilen des Gefäfses statt, indem auf der Seite les Einströmens der Dampf dünner, auf der entgegengesetzten Seite dichter werden wird; doch findet, wenn nicht dieses Einströmen ununterbrochen fortdauert, sehr schnell eine Ausgleichung statt, und das Gefäfs wird überall Wasserdampf von gleicher Dichtigkeit enthalten. Dasselbe sollte auch statt finden, wenn ein im natürlichen Zustande befindlicher Leiter in den Wirkungskreis eines positiven versetzt wird. Letzterer kann offenbar nur ein gewisse Menge fortleitendes Fluidum an jenen abgeben, im ersten Augenblicke wird also das el. Fluidum an dem zunächst gelegenen Ende des Leiters gleichsam verdünnt werden (das Ende wird —), und nach dem entgegengesetzten Ende el. Materie sich anhäufen (das Ende wird +), aber in sehr kurzer Zeit müfste sich doch das fortleitende Fluidum mit der el. Materie im ganzen Leiter ins Gleichgewicht setzen, und dieser Unterschied der Dichtigkeit aufhören, welchem indefs die Erfahrung widerspricht. Ich übergehe hier noch manche andere Schwierigkeiten, die sich besser unter andern Artikeln namentlich *Elektrophor* und *Flasche*, auf deren Erklärung DE Lüc seine Theorie sehr sinnreich angewandt hat, entwickeln lassen. Gerade da, wo man den meisten Aufschlufs von DE Lüc erwartet, wird man von ihm im Stiche gelassen, nämlich in Betreff der nähern Natur jener beiden Bestandtheile des el. Fluidums. Im XIV. Abschnitte, wo er von den Phänomenen handelt, wo-

bei sich das el. Fluidum zersetzt, reducirt er diese Zersetzung auf das allgemeine Gesetz, wonach sich überhaupt die Flüssigkeiten, mit denen die el. zu einer Classe gehört (die dampfförmigen) zersetzen, nämlich auf Verdichtung, und leitet daraus die Licht- und Feuererscheinungen und den phosphorischen Geruch ab, stellt aber verschiedene Möglichkeiten auf, wie sich deren Erscheinungen erklären lassen, ohne jedoch zwischen ihnen zu entscheiden, nur dafs er bemerkt, dafs das *Licht* für sich allein das fortleidende el. Fluidum nicht ausmache, sondern nur einen Bestandtheil desselben bilde, dessen anderer Bestandtheil vielleicht die *Feuermaterie* seyn könnte, jedoch in einem geringeren Verhältnisse, als nöthig ist, um Wärme zu bilden, woraus dann begreiflich werde, warum beim Entweichen von Licht in dem el. Funken nun auch Wärme auftrete, indem alsdann die beiden Bestandtheile in das zu ihrer Bildung gehörige Verhältnifs getreten sind. Ueber die nähere Natur der eigentlichen el. Materie läfst er uns vollends im Dunkeln.

Kaum verdient die sog. neue Theorie von J. H. Voigt, die dieser sonst verdienstvolle Physiker in einer eigenen Schrift[1] weitläuftig vorgetragen hat, eine Erwähnung, da sie keine neue Causalerklärung enthält, sondern in einem blofsen Ausdrucke der Phänomene besteht, der von dem Symmer'schen Dualismus, insbesondere wie er von Lichtenberg dargestellt worden ist, nur den Worten nach abweicht. Die Lichtenberg'schen und überhaupt alle folgerichtigen Darstellungen nach dem dualistischen Systeme verwandeln sich buchstäblich in die Voigt'schen Erklärungen, wenn man statt + und — männlichen und weiblichen Stoff, statt Sättigung und Bindung Paarung und Streben nach Paarung setzt. Wenn Bezeichnungen wie + und — positiv und negativ darum ächt wissenschaftliche genannt zu werden verdienen, weil sie auf die strenge Anwendung der Begriffe, welche diese Namen in einer andern Sphäre, nämlich der Mathematik, bezeichnen, auch in der Sphäre dieser Erscheinungen hindeuten, die allerdings nach allem, was in ihnen zeitlich und räumlich (quantitativ) bestimmbar ist, eine solche mathematische Betrachtungsweise zulassen, so erscheinen dagegen aus

---

1 Versuch einer neuen Theorie des Feuers, der Verbrennung, künstlicher Luftarten, des Athmens u. s. w. Jena 1793. 8. auch im gothaischen Magazine für das Neueste u. s. w. IX. Bd. 2. St. S. 110 u. f.

einer so ganz heterogenen Sphäre hergeleitete Benennungen als bloſse Auswüchse eines unwissenschaftlichen Witzes, und es verräth sich sogar ein gänzliches Verkennen der Gesetze des el. Wechselverhältnisses, wenn Voigt an einzelnen Orten sich so erklärt, als wenn das + oder der männliche Stoff zu dem — oder eigenthümlichen weiblichen Stoffe, mit welchem er in dem 0 E oder in der gepaarten E. verbunden war, eine besondere Verwandtschaft habe, und diesen ihm zugehörigen weiblichen Stoff vorzugsweise anziehe. Uebrigens hat Voigt über die nähere Natur dieser nach Paarung strebenden Stoffe uns keine weitere Aufschlüsse verschafft, wenn wir etwa einige Versuche ausnehmen, durch welche er zu beweisen glaubte, daſs die positive Materie stärker, als die negative wirke, Versuche, deren Beweiskraft indeſs durch spätere wieder vernichtet worden sind. Denn wenn Voigt als einen solchen Beweis anführt, daſs wenn man beim Henly'schen allgemeinen Auslader den Finger zwischen den positiven und negativen Knopf halte, man ihn von jeder Seite wie mit Ruthen gepeitscht aber stärker von der positiven Seite her fühle, so ist nicht zu vergessen, daſs von der positiven Seite die Ladung ausgegangen ist, und also sich hier ein relatives Uebergewicht von E., wovon die freie Spannung abhängt, befindet, und dann zeigt sich in den Entladungsversuchen der Volta'schen Säule stets die stärkere und unangenehmere Empfindung auf der negativen Seite. Was aber die Erscheinung der Flamme eines zwischen zwei Drähten stehenden Lichtes betrifft, daſs sie beim Elektrisiren eine fächerförmige Form annehme, aber auf der Seite der negativen E. noch eine Spitze bekomme, wie ein Aderlaſsschnepper, als ob der positive Conductor sanft hineinbliese, so zeigt die oben mitgetheilte Prüfung dieser Phänomene die gänzliche Unzulässigkeit einer solchen Ansicht.

J. G. F. Schrader hat es versucht[1], die nähere Natur der E. weiter aufzuklären. In gewisser Hinsicht hat er de Luc's Ideen zum Grunde gelegt, der Versuch ist aber gänzlich miſsrathen und verräth allenthalben eine groſse Verwirrung der Ideen. *Sauerstoff*, *Lichtstoff* und *Wärmestoff* sollen die Bestandtheile des el. Fluidums seyn, der Lichtstoff gleichsam das fortleitende Fluidum, doch soll der Wärmestoff die E. erst zur

---

1 Versuch einer neuen Theorie der E. Altona 1796.

strahlenden machen. Uebergewicht des Lichtstoffs macht den Unterschied der positiven und negativen E. Das Daseyn des Sauerstoffs in der E. glaubt er dadurch bewiesen zu haben, daſs Gold auch in irrespirablen Luftarten durch den el. Schlag oxydirt werde, wovon wir übrigens das Gegentheil wissen. Seine Erklärung der Ladung ist eine ganz miſsglückte Anwendung der de Lüc'schen Theorie.

Keinen gröſsern Werth hat dasjenige, was LAMPADIUS[1] über die Natur der E. vorgetragen hat, wobei er gleichfalls von der de Lüc'schen Ansicht über ihre, den Dämpfen analoge Zusammensetzung ausgegangen ist. LAMPADIUS glaubt in dem el. Fluidum folgende Substanzen anzutreffen 1. das Feuer, weil die E. Körper entzünde, verkalke und andere Wirkungen des zersetzten Feuers äuſsere. 2. Phlogiston, weil sie metallische Kalke wiederherstelle und die Luft phlogistisire, welche Wirkungen man doch dem Phlogiston zuschreibe. 3. Licht sey nicht allein mit Feuermaterie verbunden, als Feuer in dem el. Fluidum vorhanden, sondern es enthalte selbiges auch als gebundenes Licht, wovon vielleicht seine Zartheit und erstaunliche Geschwindigkeit herrühre. Dieses beweise der starke Glanz und die Geschwindigkeit des Blitzes. 4. Sey im el. Fluidum noch eine unbekannte Substanz vorhanden, die sich durch den Phosphorgeruch beim Elektrisiren zu erkennen gäbe, nach WESTRUMB's Vermuthung Phosphorsäure. Nähme man zwei el. Materien an, so lasse sich vielleicht ihr Unterschied durch Ueberfluſs oder Mangel von Feuer bei ihrer Ladung erklären, so wie bei chemischen Zusammensetzungen bisweilen die Säure, bisweilen ein anderer Stoff das Uebergewicht habe. Dies scheine noch dadurch eine Bestätigung zu erhalten, daſs diese beiden Materien einander anziehen, und dadurch alle E. vernichten, welches mit dem in der Theorie der Wärme bekannten Gesetze übereinstimme, nach welchem sich das Feuer durch alle Substanzen gleichförmig zu verbreiten strebt.

GREN[2] machte sich eine viel einfachere Vorstellung von der Natur der E. als die beiden vorhergenannten Physiker. Ihm zufolge ist sie wesentlich nichts anders als Lichtmaterie, welche

---

1 Versuche und Beobachtungen über die E. und Wärme der Atmosphäre. Berlin und Stettin 1793. 8. Kap. 2.

2 Grundriſs der Naturlehre. Halle 1797. 8. §. 1408.

durch Adhäsionsverwandtschaft an der Oberfläche der Leiter festgehalten, und nur an und in Nichtleitern frei, wirksam und thätig wird. Das el. Licht zeigt sich daher nur bei dem Uebergange oder Eintritte aus einem oder in einen Leiter durch einen Nichtleiter. Die Anhäufung der el. Lichtmaterie auf isolirten Leitern würde indeſs durch die Anziehung derselben dagegen allein nicht geschehen können, oder diese würde nicht hinreichend seyn, der Repulsivkraft ihrer Theile unter einander hinlänglich das Gleichgewicht zu halten, so daſs sie sich als Licht entwickeln und entweichen müſste, wenn nicht die Repulsivkraft der el. Atmosphäre die Anziehungskraft des Leiters dagegen unterstützte. Die Erscheinungen des el. Lichts in der torricelli'schen Leere beweisen dies, in welcher die Lichtmaterie, weder durch Anziehung noch durch jenen Widerstand von Auſsen zurückgehalten, am freiesten sich ausbreiten kann und das stärkste Licht zeigt. Beim Uebergange der E. als Funken oder beim Aus- und Einströmen durch Spitzen wird nicht alles el. Fluidum frei und zum Lichte, sondern es wird etwas an die Luft mitgetheilt, weil diese kein vollkommener Nichtleiter ist. So wie das Licht nach Gren aus seinem hypothetischen *Brennstoffe* als seiner eigentlichen Basis und dem *Wärmestoffe*, welchem es eigentlich seine Expansivkraft verdankt, zusammengesetzt ist, so müssen auch diese beiden Bestandtheile in dem el. Fluidum nachgewiesen werden können. Das Daseyn des Wärmestoffs als Bestandtheil der el. Materie, habe van Marum direct dargethan, und erhelle hinlänglich aus den Wirkungen der verstärkten E. Das Daseyn der eigenthümlichen Basis des Lichtes folge nicht bloſs aus dem Lichte selbst, zu welchem die el. Materie bei ihrem Freiwerden übergehe, sondern auch aus andern Versuchen wie z. B. aus der Zersetzung des Wassers durch den el. Funken, dessen Wasserstoff, wenn er Wasserstoffgas bilden soll, nothwendig die Basis des Lichtes enthalten müsse, die er nirgend anderswoher als aus dem el. Fluidum empfangen könne. Die Geruchs- und Geschmacksempfindungen, welche die E. hervorbringen, bewiesen keinesweges das Daseyn eines eigenthümlichen Riechstoffs einer Säure u. dgl. in der el. Materie, sondern nur, daſs unsere Nerven durch Strömung der el. Materie *gereizt* würden. Es folge aus dieser Hypothese, daſs die el. Materie in den Körpern zusammengesetzt und zersetzt werden könne. Die ursprüngliche Erregung der E. bei so man-

nigfaltigen Processen des Schmelzens, Verbrennens, Verdampfens u. s. w. lasse sich hieraus erklären. Beim Reiben sey es ohne Zweifel der dabei entwickelte Wärmestoff, welcher der durch Anziehung der Körper unthätig gemachten und ins Gleichgewicht gebrachten el. Materie die nöthige Expansivkraft ertheile, vielleicht auch sich mit der in den Körpern befindlichen Lichtbasis erst zur el. Materie vereinige. Das einerseits ganz Willkürliche, andererseits Ungenaue dieser Darstellung leuchtet von selbst ein, und nur der Name des berühmten Urhebers gab Veranlassung, derselben so viele Zeilen zu widmen.

H. C. Oersted[1] fafste die el. Thätigkeit aus einem höheren Standpuncte auf, indem er in derselben gleichsam nur eine besondere Wirkungsform der allgemeinsten Naturkräfte zu finden glaubte. Seine Ansicht hat ihre erste Wurzel in Kant's dynamischer Physik, und ihre besondere Richtung ohne Zweifel vorzüglich durch Winterl's geistreiche Träumereien[2] erhalten. Alle el. Erscheinungen hängen, ihm zufolge, von denselben *zwei Grundkräften* ab, welche dem chemischen Procefs zum Grunde liegen, und welche in dieser Sphäre von ihm den Namen der *Zündkraft* und *Brennkraft* erhalten haben. In ihrer ganzen Consequenz durchgeführt fallen nach dieser Ansicht die Körper selbst mit den Kräften zusammen, indem auch der Raum nur durch diese Kräfte körperlich wird. Indefs ist in der wirklichen sprachgemäfsen Darstellung die Unterscheidung dieser Kräfte von den Körpern selbst unvermeidlich. Für sich ist jede dieser Kräfte durch Repulsiv- oder Ausdehnungskraft frei thätig, und strebt sich im Raume zu verbreiten, in Beziehung auf einander wirken sie durch gegenseitige Anziehungskraft, heben so wechselseitig ihre Repulsivkraft auf, und fixiren sich im Raume. Da *Wärme*, *Licht* und *Magnetismus* nur besondere Wirkungsformen eben dieser Kräfte sind, so ist leicht begreiflich, wie unter besondern Umständen die el. Kräfte in ihrer Wirkung auf einander Wärme, Licht, und selbst magnetische Erscheinungen hervorbringen können. Winterl hatte ungefähr auf dieselbe Weise früher, wie Oersted in seiner Zündkraft, in den Principien der *Acidität* und *Alkalität* oder

---

1 Ansicht der chemischen Naturgesetze. Berl. 1812.

2 Darstellung der vier Bestandtheile der anorganischen Natur. Jena 1804.

den von ihm sogenannten begeistigenden Principien die letzten chemischen Kräfte aufgestellt, auf deren wechselseitiger Anziehung alle chemischen Verbindungserscheinungen (und damit auch alle Zersetzungen, die dann nur Folge einer neuen Verbindung sind) beruhen, und diese Kräfte als identische mit den beiden Elektricitäten nachzuweisen gesucht. Zugleich hatte er behauptet, daſs die beiden Elektricitäten durch ihre Einung stets Wärme erzeugen die also ein Product, ein Zusammengesetztes, aus ihnen beiden als ihren Bestandtheilen sey. Dagegen erinnerte Oersted mit Recht, daſs Wärme-Erzeugung nur unter besondern Umständen ein Resultat der Ausgleichung beider Elektricitäten sey, indem auch die gröſsten Quantitäten entgegengesetzter E., wenn sie sich in hinlänglich vollkommenen Leitern ausgleichen, keine Temperaturerhöhung veranlassen. Indem er nun mit vieler Sorgfalt alle die Phänomene der Wärmeerzeugung durch E. zusammenstellte, gelangte er zu dem Resultate, daſs ein Körper warm wird, wenn er gezwungen ist, eine gröſsere Elektricitätsmenge zu leiten, als er frei geleitet haben würde, und zu dem Fundamentalsatze seiner Wärmetheorie, daſs derjenige Zustand, wo das Gleichgewicht in jedem Puncte des Körpers gestört ist, aber so, daſs es zu keiner sinnlich erkennbaren Trennung der Kräfte komme, die Erscheinung der Wärme gebe. Die nähere Prüfung dieser Theorie gehört in den Artikel: *Wärme*, nur das mag hier beistimmend bemerkt werden, daſs Oersted auſser allen Zweifel gestellt hat, daſs eine bloſse Vereinigung der beiden Elektricitäten an und für sich noch keine Wärme giebt, oder daſs diese nicht in demselben Sinne als ein Product derselben betrachtet werden kann, wie etwa ein Salz als dasjenige der Vereinigung einer Säure und einer Base.

Wollaston[1] suchte die Natur der E. vielmehr aus der Natur ihrer Quelle oder der Art ihrer Erregung aufzuklären. Erst bewies er durch mehrere scharfsinnig ausgedachte Versuche die Identität der gewöhnlichen Reibungs E. mit der galvanisch erregten auch da, wo man vorher nur Verschiedenheit gesehen hatte. Es gelang ihm durch den bloſsen el. Strom der Elektrisirmaschine (eines Glascylinders von 7 Zollen im Durchmesser) die Wasserzersetzung auf eine ähnliche Weise wie durch die Zuleitungsdrähte einer Volta'schen Säule zu bewirken, wenn er diesen Strom nur durch eine hinlänglich feine Spitze in das

1 G. XI. 104.

Wasser leitete. Er bereitete sich dazu die feinsten Goldfäden durch Verjagung der Säure einer Goldauflösung in einem Haarröhrchen, das auf diese Weise innerlich mit einem höchst dünnen Goldhäutchen überzogen worden war, und zusammengeschmolzen wurde. Verband er zwei solche Drähte, wenn man sie so nennen darf, den einen mit dem positiven, den andern mit dem negativen Conductor seiner Maschine, so zeigten sich an beiden Enden Gasbläschen, doch immer noch mit dem Unterschiede von dem Verhalten der galvanisch durchströmten Gasleitungsröhre, daſs Sauerstoffgas und Wasserstoffgas jedesmal zugleich an beiden Drähten, und nicht getrennt jedes für sich an seinem respectiven Drahte auftreten. Eine andere Aehnlichkeit beiderlei Arten von E. zeigte sich in der Wirkung eines Stromes elektrischer Funken zwischen zwei, einen Zoll von von einander abstehenden, Goldspitzen, die über ein mit Lackmus blau gefärbtes und beinahe trockenes Kartenblatt geleitet wurden und am positiven Drahte das Papier sichtlich roth färbten, am negativen dagegen die blaue Farbe des rothgefärbten wieder herstellten. Doch erfolgte diese Wirkung schneller durch den Volta'schen Apparat. Bei dieser Aehnlichkeit der beiden Elektricitäten in ihrer Wirkung kam Wollaston auf die Folgerung, daſs sie auch auf gleiche Art erregt werden möchten, und wirklich wurde dies durch Versuche bestätigt. Das Silber und Platin-Amalgama die sich nicht oxydiren, zur Einreibung des Reibkissens gebraucht, hinderten die Erregung der E., und eine kleine Elektrisirmaschine gab unter einem Recipienten, in welchen kohlensaures Gas gelassen worden war, keine Spur von E. So wie nun hier das Reibzeug, an welchem sich das oxydirbare Amalgam befindet, negativ elektrisch wird, so wird auch in der Säule der sich oxydirende Zink negativ (wovon jedoch bekanntlich gerade das Gegentheil statt findet).

Auf dieser von Wallaston (scheinbar) zur Aufklärung der Natur der E. aus dem Vorgange ihrer Erregung gebrochenen Bahn ist später Parrot noch weiter fortgeschritten, und ist so zu einer Theorie der E. gelangt, die wegen ihrer specielleren Ausführung hier näher gewürdigt zu werden verdient[1]. Das schon längst bekannte Phänomen, meint Parrot, daſs ein nur

---

1 S. Grundriſs der theor. Physik II. Theil drittes Kapitel. Allgemeine Theorie der E. S. 588.

mäfsig gut gekochtes Barometer bei dem Schwenken der Quecksilbersäule E. zeigt, ein völlig luftleeres aber nicht, hätte schon andeuten sollen, dafs die atmosphärische Luft bei allen unsern Reibungsversuchen zur Entstehung der E. nothwendig sey. Diesen wichtigen Satz habe D. Heidmann in Wien durch folgende Versuche aufser allen Zweifel gesetzt[1]. Eine kleine Elektrisirmaschine wurde unter die Glocke einer Luftpumpe so aptirt, dafs sie ohne Communication mit der äufsern Luft gesetzt werden konnte. Die Glocke stand aber mit einem Gasometer in Verbindung, welcher die Glocke mit verschiedenen Gasarten versehen konnte, nachdem die vorhergehende ausgepumpt worden war. Hierauf wurden folgende Gase nach und nach eingeführt, die Elektrisirmaschine in Thätigkeit gesetzt, und die Länge der Funken mit einem Auslader gemessen. 1. *Atmosphärische Luft* von der Dichtigkeit der äufseren lieferte Funken von 3″. 2. Atmosphärische Luft, welche nur noch 3″,5 Quecksilber trug, lieferte keine mefsbare Funken mehr, sondern nur ein schwaches Knistern. Bei möglichster Verdünnung hörte dieses auch auf, und nur noch ein Korkkügelchenelektrometer gab einige Spuren von E. zu erkennen. 3. *Sauerstoffgas* gab ununterbrochene Funken von 5″,5. 4. *Kohlensaures Gas* von ziemlicher Reinheit liefs keinen Funken zu. Am Elektrometer wurde nur ein Schwanken der Kügelchen bemerkt. 5. Ebenso verhielt sich das *Wasserstoffgas* und *Stickgas*.

Diese Versuche sollen beweisen, dafs nur die Gegenwart des freien Sauerstoffs die Elektricitätserregung zulasse. „Die Wirkung des freien Sauerstoffs ist aber Oxydation der „oxydablen Stoffe, welche ihm dargeboten werden. In der „Reibungselektricität zeigt sich auch diese Oxydation. Beim „Reiben einer Scheibenmaschine am (reinern) Quecksilber sieht „man diese Oxydation mit grofser Schnelligkeit entstehen, sie „entsteht am Kienmayer'schen Amalgama, welches weiter nichts „ist, als ein an der Luft sehr oxydabeles Gemisch. Sie findet „sich an der Hand des Experimentators, der sie als Reiber gebraucht, in den ausdünstbaren, oxydirbaren Stoffen; sie entsteht am blofsen Leder und andern Substanzen, die man als „Reiber anwendet, und wir finden durchaus, dafs die Grade

[1] Vergl. Dr. Heidmann vollständige Theorie der E. Bd. II. S. 191—210.

„der E. an der Elektrisirmaschine mit der Oxydirbarkeit des „Reibers zunehmen."

Das Resultat hieraus ist, defs die Reibungselektricität so gut als die galvanische ein Product der Oxydation ist. Die Reibung befördert die Oxydation 1. durch eine gelinde Erwärmung. 2. Durch eine vollkommene Trituration der atmosphärischen Luft mit der oxydabelen Substanz. 3. Durch eine beständige Zufuhr von neuer Luft in den Procefs. Sie erhöht endlich die el. Wirkung, indem sie den Körper, der + E hat, schnell von dem, der — E hat, entfernt. Die stärkere Spannung der Reibungs-E. gegen die der galvanischen beruht auf der Abwesenheit einer leitenden Flüssigkeit, welche beide E. bald nach ihrer Entstehung in der Säule wieder vereinigt, aber auch darauf, dafs jeder physisch unendlich schmale Streifen der Scheibe als eine Schichtung in der Säule angesehen werden kann, welche dem Conductor, dem Pole der Maschine, ihre erhaltene E. zuführt, und da dieser Streifen unendlich viele auf der Fläche der Scheibe sind, so haben wir hier nicht eine Summe von 100 oder 200 einfachen Graden, sondern eine unzählige Summe derselben. (Wie wenig diese Vergleichung passe, ergiebt sich schon daraus, dafs alle diese Streifen eine gleiche Spannung beim Reiben annehmen). Parrot huldigt dem Dualismus, und zwar soll die positive E. Wärmestoff, die negative Lichtstoff seyn, denn Licht und Wärme zeigen sich auch ohne Oxydation beim el. Funken und beim Ausströmen aus Spitzen. Der Wärmestoff ist der expandirende Stoff für das Oxygen (aber die + E in der Gaszersetzungsröhre stellt den gebundenen Sauerstoff in Gasgestalt dar) der Lichtstoff ist das expandirende Princip für das Hydrogen (aber die — E stellt auch den gebundeuen Wasserstoff in Gasgestalt dar). Diese Annahme stimmt auch vollkommen mit der Erregungsweise der E. überein. An den gewöhnlichen Elektrisirmaschinen oxydirt sich das Amalgama, diese entzündliche Substanz (eine *Lucide*) verliert dadurch ihre Entzündlichkeit, d. h. ihren gebundenen Lichtstoff, welcher aber nicht vernichtet werden kann. Daher erscheint er als — E am Metalle. Der Sauerstoff der atmosphärischen Luft, indem er sich mit der Lucide verbindet, verliert seinen Wärmestoff, der eben so wenig vernichtet werden kann, daher erscheint er als + E und hängt sich dem Glase an. Auf ähnliche Weise erklärt Parrot die Elektricitätserregung in der Säule. Die Kohle,

durch welche ein mächtiger galvanischer Strom hindurch geleitet wird und welche am + Ende und am — Ende zugleich glüht, zeige gleichsam dem bloſsen Auge die + E in Gestalt des Wärmestoffs, und — E in Gestalt des Lichtstoffs. Jene im + Ende gehäuft erheitze die Kohle bis zur Entzündung (aber das Glühen findet nach Davy auch beim Ausschluſs alles Verbrennens der Kohle in der so stark wie möglich verdünnten Luft im Wasserstoffgas u. s. w. statt), diese am — Ende gehäuft liefere den Lichtstoff des Entzündungsphänomens, der angehäuft bekanntlich die Glühhitze bewirkt. Uebrigens hängen die el. Phänomene von der vereinten Wirkung des Expansionsstrebens jener beiden Stoffe, welches das Ueberwiegende ist, und der Anziehung der ponderabelen Stoffe zu ihnen ab. Die Anziehung äuſsere sich bei den Metallen und wäſsrigen Flüssigkeiten nur an der Oberfläche nach Art einer Adhäsionsverwandtschaft, beim Glase, den übrigen Isolatoren (den *Luciden*) bis ins Innere, durch eine Art von chemischer Verwandtschaft, aber nur langsam, wie eine Säure nur langsam in das Wasser, das darüber gegossen wird, eindringe. Parrot gesteht aufrichtig, daſs wir in der Lehre des Wärmestoffs und des Lichtstoffs keine Anziehung dieser beiden Imponderabilien zu einander wahrgenommen haben, glaubt aber, diese groſse Schwierigkeit leicht umgehen zu können, wenn er hinzufügt, daſs nur die Elektricitätsphänomene im Stande sind, sie uns darzustellen, weil sie allein uns diese beiden Stoffe frei von andern Stoffen, und auf einander einwirkend zeigen. Endlich sollen im hervorbrechenden Funken beide Stoffe frei mit einander hervortreten, sie haben sich als Elektricitäten gebunden, aber als Stoffe wechselseitig frei gemacht.

Diese Theorie und damit auch die Wollaston'sche Erklärung der Erregung der E. durch Reibung hält indeſs eine genauere Prüfung nicht aus. Schon das Hauptfactum, von welchem Parrot ausgeht, die Abwesenheit der el. Lichterscheinung in einem vollkommen ausgekochten Barometer, verglichen mit den verwandten Phänomenen, liefert vielmehr einen Gegenbeweis. Wenn Oxydation des Quecksilbers durch den kleinen Rückstand von atmosphärischer Luft in dem nicht so vollkommen ausgekochten Barometer die Quelle der E. wäre, wie könnten durch Kochen des Quecksilbers soviel möglich luftleer gemachte und dann hermetisch verschlossene Röhren, in welchen man etwas Quecksilber zurückgelassen hat (die sogenannten

Hawksbee'schen Quecksilberphosphore) viele Jahre hindurch ihr phosphorisches Licht mit ungeschwächter Stärke geben. Ich besitze dergleichen bereits 30 Jahre, mit denen ich viele hundert Male mehrere Minuten lang den Lichtversuch angestellt habe, und noch zeigt das el. Licht seinen ursprünglichen Glanz und das Quecksilber sein unverändertes metallisches Ansehen. Auch ist es bekannt genug, dafs reines Quecksilber, wie stark und lange man es auch in Berührung mit der atmosphärischen Luft oder auch mit Sauerstoffgase in einem Glase schüttelt, sich doch nicht im Geringsten oxydirt. In wie viele Fällen findet *Elektricitätserregung* statt, wo auch nicht die *geringste Oxydation* anzunehmen ist, z. B. beim Erkalten des geschmolzenen Schwefels in metallenen Gefäfsen, beim starken Drucke der Körper an einander, bei der bloſsen Veränderung des Aggregatzustandes derselben u. s. w. Die königliche Societät der Wissenschaften zu Göttingen hatte für das Jahr 1809 die Preisfrage aufgegeben: Was haben Sauerstoff, Stickgas und andere Gasarten für einen Einfluſs auf die Erregung der E. durch Reiben, und wie verhalten sich andere el. Erscheinungen, wie z. B. Anziehen und Abstofsen, Funken, Strahlenbüschel in den vorzüglichsten Gasarten. Es war nur eine Abhandlung eingelaufen, in welcher ähnliche Versuche wie die Heidmann'sche beschrieben und Parrot's Theorie wörtlich vorgetragen war. Die Societät fand aber die Abhandlung nicht genügend, und machte gegen die Theorie mehrere treffende Bemerkungen. Insbesondere erinnerte sie, dafs bei Elektrisirmaschinen aus seidenen und wollenen Zeugen, die man mit Pelzwerk reibt, seit vielen Jahren, während welcher sie gebraucht werden, keine Veränderungen in dem Reibzeuge wahrzunehmen seyen, dafs also hier wenigstens die Oxydationstheorie nicht anwendbar sey. Es wird von derselben auch noch erinnert, dafs die Oxydation des Amalgams auch blofs ein begleitendes Phänomen seyn könne, wodurch dasselbe wegen veränderter Beschaffenheit seiner Oberfläche untauglich zum Reibzeuge werde[1]. Ehe jene Heidmann'schen Versuche zur Grundlage einer so umfassenden Theorie gemacht wurden, hätten sie billig von Parrot durch Wiederholung bestätigt werden sollen. Hieraus würde die Ueberzeugung hervorgegangen seyn, dafs Heidmann entweder gesehen

1 S. Gött. Gel. Anzeigen Nr. 17. 1809.

hat, was er sehen wollte, oder irgend einen wic gen Umstand übersehen hat. Was nämlich die Abnahme der . Phänomene in verdünnter Luft betrifft, so berechtigte sie an s h noch nicht zum Schlusse, dafs Mangel an Sauerstoff dieses ranlasse, da auch die blofse Zerstreuung der E. in einem weni r isolirenden Medium die Ursache davon seyn konnte. Eine hnliche Zerstreuung der E. durch das kohlensaure Gas, das asserstoffgas und Stickgas, als weniger isolirende Medien wie ie atmosphärische Luft, ist dagegen freilich nicht zulässig, da aus GROTTHUSS's Versuchen das Verhalten des el. Funkens i den beiden ersteren[1] hervorgeht, dafs sie keine bessere Leite , als die gewöhnliche atmosphärische Luft sind. Indessen ha en wir auch zu diesem Auswege nicht unsere Zuflucht zu nehm n, da HEIDMANN's Versuche bei der Wiederholung sich wirklich nicht bestätigt haben. Ich beziehe mich in dieser Hinsicht auf DESSAIGNES's Versuche über den Einflufs des Luftdrucks auf die Kraft der E.[2]. Die kleine Elektrisirmaschine, mit der er sowohl in verdünnter als verdichteter Luft, in verschiedenen Gasarten und Dämpfen, diese Versuche unter einem Recipienten anstellte, bestand aus einem 2″,6 dicken Cylinder von Siegellack, der sich an einem wollenen Reibzeuge rieb. Die Stärke der jedesmaligen Elektricitätserregung wurde durch die Gröfse der Divergenz der Kügelchen eines Saussüre'schen Elektrometers nach einer gewissen Anzahl von Umdrehungen gemessen, das mit einer metallenen Spitze bis auf 0,5 Linie mit dem Cylinder nahe war. Für die gehörige Austrocknung der Gasarten wurde durch geglühetes ätzendes Kali, oder salzsauren Kalk gesorgt. Da fand sich denn, dafs sich die durch Reiben erzeugte el. Kraft im *kohlensauren Gase, Wasserstoffgase und Stickgase*, so wie in der *atmosphärischen Luft* und im *Sauerstoffgase* äufserte und dafs sie beim *Verdünnen* und *Verdichten* dieser Gasarten, dieselbe *Zunahme* und *Abnahme* an Stärke und dasselbe Verlöschen erlitt. DESSAIGNES glaubte einen Einflufs der jedesmaligen el. Spannung der Atmosphäre auf die Stärke der E. und auf die früher oder später eintretende Abnahme bei der Verdünnung und Verdichtung, die erst einen verstärkenden Einflufs äufserten, beobachtet zu haben. Dabei bemerkte er nun,

1 Schweigg. III. S. 142.
2 G. XLVIII. 40.

dafs an Tagen starker Spannung die E. im *kohlensauren Gase* sogar mehr Intensität, als im *Sauerstoffgase*, und in diesem mehr als im *Stickgase* und *Wasserstoffgase* halte, dessen ungeachtet aber beim Verdünnen und Verdichten im kohlensauren Gase und überhaupt in den *dichteren* Gasarten eher als im Wasserstoffgase erlosch. An Tagen schwacher Spannung schien ihm dagegen die E. im Stickgase und Wassertoffgase viel stärker als im Sauerstoffgase und besonders im kohlensauren Gase zu seyn, und so erklärt er sich den entgegengesetzten Erfolg des Wollaston'schen Versuchs im kohlensauren Gase daraus, dafs er an einem Tage schwacher el. Spannung angestellt worden sey, wo die Elektricitätserregung in der atmosphärischen Luft noch ziemliche Intensität habe. Da man gegen Dessaignes's Versuche einwenden könnte, dafs sie mit einem ganz andern el. Körper und Reibzeuge, wie die des Dr. Heidmann und Wollaston angestellt seyen, und da es mir überhaupt von dem höchten Interesse schien, diese Sache aufs Reine zu bringen, so habe ich selbst Versuche mit einer kleinen sehr wirksamen englischen Patentscheiben-Maschine angestellt, deren Scheibe 9″ im Durchmesser hatte, und mit welcher eine Leidner Flasche verbunden war, die sich durch Hülfe eines Lane'schen Ausladeelektrometers nach einer grofsen Anzahl von Umdrehungen und davon abhängiger Stärke der Ladung von selbst entlud. Die bis zur Selbstentladung nöthige Anzahl der Umdrehungen war hier ein sehr sicherer Mafsstab für die Stärke der Elektricitätserregung. Die kleine Maschine befand sich mit der Flasche unter einem hinlänglich grofsen Recipienten, und die Axe der Maschine ging durch ein seitwärts in der Wendung der Glocke angebrachtes Loch durch eine Lederbüchse. Die Glocke wurde von der atmosphärischen Luft entleert und dann mit den Gasarten gefüllt. Die Versuche wurden öfters wiederholt. Hier zeigte sich nun, dafs im kohlensauren Gase nicht mehr Umdrehungen zur Entladung der Flasche nöthig waren, als in der atmosphärischen Luft, ja an manchen Tagen erfolgte die Entladung sogar früher, nämlich nach 8 bis 9 Umdrehungen, da die in der atmosphärischen Luft erst nach 12—13 Umdrehungen erfolgte. Auch im Wasserstoffgase ging die Ladung der Flasche eben so gut vor sich. Derselbe Fall war im Stickgase, das ich durch Schwefelleber aus der Luft bereitet hatte. Hiermit fällt also das ganze Fundament der Parrot'schen Theorie über den Haufen. Endlich

aber ist gar nicht zu begreifen, warum Wärmematerie und Lichtmaterie in den el. Erscheinungen mit so gänzlich abweichenden Eigenschaften von denjenigen auftreten sollten, die sie sonst zeigen. Eine gröſsere Reinheit derselben kann doch wahrlich nicht der Grund davon seyn, da vielmehr alles, besonders die Einwirkung auf unsere verschiedenen Sinnenorgane eine gröſsere Zusammengesetztheit der E. wie der Licht- und Wärmematerie anzeigt. Man kann unmöglich eine Uebereinstimmung zwischen dem positiven Feuerbüschel, der mit schönem purpur-violettem Lichte in divergirenden, von einem Stamme ausfahrenden, Strahlen hervorbricht, auf der Zunge einen säuerlichen Geschmack bewirkt, einen deutlichen Phosphorgeruch verbreitet, und nur unter besondern Umständen eine Temperaturerhöhung bewirkt, mit reiner Wärmematerie finden.

Ruhland [1] hat einen neuen Versuch gewagt, die Natur der E. weiter aufzuklären. Seine Ansicht über das Verhältniſs der beiden Elektricitäten gegen einander steht in der Mitte zwischen der Franklin'schen und dualistischen Theorie. Zur Verdeutlichung dieses Verhältnisses bedient er sich der Analogie des Lichtes. Die Elektrisirung sey ähnlich der Polarisation des letzteren zu Farben. + E und — E verhalten sich gegen einander wie rothes und violettes Licht, sie seyen gleichsam verschiedene Spannungen, es komme an ihnen weniger ihr Gegensatz als ihr Gemeinschaftliches in Betrachtung, doch ziehen sie hier wie zwei Hälften einer Substanz einander an. + E sey von gröſserer Spannung, und so wie das Licht beim Durchgange durch trübe Mittel als rother Strahl mit gröſsrer Spannung hervortrete, so werde die E. auch um so mehr + E, je mehr sie Widerstand bei ihrem Heraustreten zu überwinden habe. Doch finde nicht blos diese qualitative Spannungsverschiedenheit zwischen + E und — E statt, vermöge welcher das + E auch bei allen gradativen Verschiedenheiten doch stets seine charakteristische Verschiedenheit von dem — E behaupte, so wie die rothe Farbe bei den verschiedensten Abstufungen der Stärke gleichfalls beständig roth bleibe, sondern es setzen alle an den beiden Elektricitäten vergleichungsweise untersuchten Wirkungen es auſser Zweifel, daſs das + el. Fluidum die gröſste Masse habe, folglich der — el. Körper im Verhältniſs der Aufnahme zu dem + el.

1 System der allgemeinen Chemie, Berlin und Stettin 1818.

stehe, der dagegen durch den el. Procefs ärmer daran werde. Den Beweis hiervon findet Ruhland besonders in der gröfseren Kraft der + E zu zünden, zu schmelzen, in den Erscheinungen beim Durchschlagen eines Kartenblatts, in dem stärkern Schlage einer galvanischen Batterie vorzugsweise an dem Gliede, welches das + Ende berührt (wovon ich und alle diejenigen, die schon so oft diesen Versuch mit mir anstellten, gerade das Gegentheil fanden). Mit der Wärme und dem Lichte habe das el. Fluidum gemein, dafs sie alle drei gleicherweise der Cohäsion entgegengesetzt seyen. Dieses Gemeinschaftliche könne man durch das Collectivum *Phlogiston* bezeichnen. Es strebe bei dieser Entgegensetzung auch umgekehrt die Cohäsionskraft eines jeden Körpers dahin, dieses Phlogiston, als die ihm entgegegengesetzte Action auszutreiben, da erstere nur auf diese Weise eine Zunahme erhalte; dieses könne aber nur gelingen, wenn ein Körper mit einem andern zusammentrete, gegen welchen er sich eines Theiles seines Phlogistons zu entladen im Stande sey. Da aber auch jeder andere Körper das Bestreben habe, sich seines Phlogistons zu entledigen, so könne nur das Uebergewicht der *Action* des einen in Beziehung auf den andern allein diese Dephlogistication des einen an den andern möglich machen. Jedes el. Verhältnifs zweier Körper beruhe daher auf gegenseitiger *Erregung*, welche ihren Grund darin habe, dafs ein Körper den andern el. zu setzen suche, während jeder zugleich gegen die Einwirkung des andern reagire, wodurch dann beide zu einem Grade von Thätigkeit sich erhöben, welchen sie ursprünglich nicht hatten. Es folgt auch aus diesem Verhältnisse, dafs nach dem el. Processe beide Körper nicht mehr sind, was sie *vor* demselben waren, sondern dafs derjenige Körper, welcher in der Verbindung mit + E auftritt, und der *phlogistischere* ist, sich in Beziehung auf den — el. nach der Entladung *dephlogistisirt*, dieser *phlogistisirt* verhält. Ein relatives Steigen der Cohäsionskraft von jenem und ein Sinken derselben von diesem, somit Contraction auf jener Expansion auf dieser Seite, sind nothwendige Folgen davon.

Ich habe absichtlich etwas ausführlicher die Hauptideen Ruhland's, die sich auf die E. beziehen, mitgetheilt, um auf jenes oben angeführte Werk, das fast gar nicht beachtet worden ist, und doch viele originelle und mitunter fruchtbare

Ideen enthält, und besonders auf manche Schwierigkeiten hinweist, die man in den gebräuchlichen Erklärungen ganz übersieht, aufmerksam zu machen. Übrigens scheint mir Ruhland die Verschiedenheit der positiven und negativen E. durch Verschiedenheit der Spannung und Masse eines und desselben Fluidums eben nicht deutlicher gemacht zu haben, denn daſs hier nicht von einer *Tension* in dem gewöhnlichen el. Sprachgebrauche die Rede sey, leuchtet in die Augen.

Auf einem ganz andern Wege, als den die bisher vorgetragenen Theorien eingeschlagen haben, glaubte Biot [1] zu einer befriedigenden Erklärung einiger der wichtigsten, die E. begleitenden Erscheinungen gelangt zu seyn. Da nämlich verbrennliche Körper durch Comprimiren der Luft entzündet werden können (wie z. B. Schwamm in dem sogenannten pneumatischen Feuerzeuge) und Berthollet in seiner statique chimique gezeigt haben sollte, dafs die E. bei ihrem Durchgange durch die Körper in ihren kleinsten Theilchen eine wahre Compression bewirke, so wurde er auf die Idee geführt, dafs in dem el. Funken ein bloſs *mechanisches Resultat der Compression* wahrzunehmen sey. Denn vermöge der auſserordentlichen Geschwindigkeit, womit die E. durch die Körper gehe, deren Theile sie comprimire, sey es nicht anders möglich, als dafs sie aus der Luft Licht entbinden müsse, indem es uns schon gelinge, dieses durch ein weit minder schnelles Comprimiren zu bewirken. In der Compressionspumpe müssen wir die Luft durch Glas einschlieſsen, weil wir dem Kolben nur eine sehr beschränkte Geschwindigkeit zu geben vermögen, indeſs beim el. Funken die Theilchen mit einer so auſserordentlichen Geschwindigkeit comprimirt werden, dafs sie nie schnell genug ausweichen können, weshalb selbst in freier Luft die Compression sammt der Lichtentbindung oder dem Funken, der eine Folge derselben sey, vor sich gehen könne. Aber diese Wirkung sey local, und wenn Gasarten, die nicht fähig seyen, in einen andern Zustand durch Verbindung überzugehen, nach jeder Explosion zu ihren anfänglichen Dimensionen zurückkämen, wie dies der Versuch mit dem Kinnersley'schen Luftthermometer beweise [2], so nehmen sie bei dieser Dilatation sogleich alle Wärme wieder in

---

1 Ann. de Chemie. Tom. LIII. p. 324 ff.

2 S. *Elektrometer*.

sich auf, die sie hergegeben hätten, so daſs in ihrer Beschaffenheit keine bleibende Veränderung vor sich gehen könne. Dieses Licht, welches die E. aus den Gasarten durch Compression entwickele, müsse sie aus ihnen selbst auch in verdünntem Zustande, ja wegen der ungeheuern Geschwindigkeit, die ihr eigen sey, selbst aus den Dämpfen entbinden, wenn man im luftverdünnten Raum oder in der Torricelli'schen Leere operire, indem letztere selbst in dem am vollkommensten ausgekochten Barometer noch einen, wenn auch noch so dünnen Quecksilberdunst enthalte. Diesemnach erfolgen alle el. Lichterscheinungen auf eine rein mechanische Weise, und enthalten nichts eigentlich el. in sich. Indeſs steht dieser Erklärung die Schwierigkeit entgegen, daſs die el. Funken auch im Oele erscheinen, und die Zuleitungsdrähte einer mächtigen Volta'schen Säule, auch wenn sie im Wasser sich berühren einen sichtbaren el. Funken geben, endlich das anhaltende starke Leuchten luftleerer Röhren, wobei doch an eine Compression durch einen schnell bewegten Körper gar nicht zu denken ist.

Brugnatelli's Versuche [1], durch welche er die el. Materie als eine wahre Säure, die er el. Säure nannte, und selbst in Verbindung mit Metalloxyden, zu el. - sauren Salzen dargestellt haben will, werden ihren schicklichen Ort unter dem Artikel *Galvanismus* finden, wobei ich vorläufig bemerke, daſs die aus diesen Versuchen gezogenen Folgerungen über die Natur des el. Fluidums keinen Beifall verdienen.

Auch Röslin [2] hat sich in Erörterungen über die Natur der Elektricitäten eingelassen, und glaubt durch eine sehr weitläuftige Demonstration bewiesen zu haben, daſs gebundener Wärmestoff ein wesentlicher Bestandtheil der beiden E. sey, jedoch im geringeren Grade der negativen E. zukomme, woraus dann folge, daſs sich bei gleicher Intensität, durch den Grad der anziehenden und abstoſsenden Kraft gemessen, die freie — E weniger ausdehnsam und weniger für das Entzünden brennbarer und das Schmelzen schmelzbarer Materien wirksam zeige, weswegen sie kleinere, intensivere und stärker stechende Funken gäbe, und auch mit anderen Lichte leuchte als die freie + E, daſs ferner der gebundene Wärmestoff der beiden Elektricitäten bei

1 G. VIII. 284.

2 Kritische Prüfungen u. s. w. Cap. IX u. X.

ihrer wechselseitigen Ausgleichung zu 0 jedesmal frei werde, daſs aber die Lichtmaterie keinen Bestandtheil der Elektricitäten ausmache, sondern jedesmal erst, wenn die E. mit einem gewissen Grade von Dichtigkeit hervorbreche, die gebundene Lichtmaterie der umgebenden Luft oder Dünste, durch welche sie hindurchströme (die auch in der Torricelli'schen Röhre nie ganz fehlen) anziehe, und so erst leuchtend werde.

An diese Behauptungen werden sich am besten noch einige Bemerkungen über den jetzigen Standpunct der Elektricitätslehre in Betreff einer eigentlichen Theorie der el. Erscheinungen, wie die sich beim nochmaligen Rückblicke auf die neuesten Bemühungen in dieser Hinsicht ergeben, anknüpfen lassen.

Es scheint mir zuvörderst ganz ausgemacht zu seyn, daſs den *el. Erscheinungen eine eigenthümliche Materie, die zu den ätherischen Flüssigkeiten zu rechnen ist*, zum Grunde liege. Auf dem Standpuncte der dynamischen Physik, auf welchen Oersted in seiner Theorie sich befindet, würde freilich diese Materie in ein bloſses Spiel von Kräften sich auflösen, jedoch in keinem andern Sinne, als gleichfalls jede andere Materie. Indem ich also der E. ihre Materie vindicire, soll weiter nichts behauptet werden, als daſs sie einen *Bestand für sich* habe, daſs sie also nicht in einer bloſsen besondern Thätigkeit der ponderablen Körper, etwa in einer eigenthümlichen zitternden Bewegung derselben bestehe. Der Beweis hiervon liegt unwidersprechlich darin, daſs die Fortpflanzung dieser Thätigkeit durch einen Raum um so leichter und ungehinderter statt findet, jemehr er sich der *vollkommenen Leere* nähert. Da es also an einem anderweitigen Träger dieser Thätigkeit fehlt, so muſs sie ihn selbst mit sich bringen, d. h. die E. hat *eigenthümlichen materiellen Bestand.*

Eben so ausgemacht scheint es mir zu seyn, daſs es zweierlei Arten von E. giebt. Alle Gründe, welche aus den Erscheinungen des el. Conflicts für die Annahme einer eigenthümlichen Thätigkeit, und damit einer eigenthümlichen ätherischen Flüssigkeit auf der einen Seite dieses Conflicts angeführt werden, gelten durchaus und ohne Ausnahme auch für die andere Seite, jede neue Erfahrung diente nur zur Bestätigung hiervon, und zugleich zum Erweise, daſs auf jeder Seite eine specifische Thätigkeit statt findet, wovon die eine von der

andern bei aller Aehnlichkeit, die sie mit einander zeigen, durch ihre eigenthümlichen Reactionen mit den verschiedenen Kräften und Eigenschaften, sowohl der organischen als unorganischen Natur sich merklich unterscheidet. Von diesen Eigenthümlichkeiten einer jedem der beiden Thätigkeiten konnte in diesem Artikel noch nicht im ganzen Umfange gehandelt werden, doch ist schon genug davon angeführt, um jede einzelne erkennen zu können. Es muſs hier noch ausdrücklich bemerkt werden, daſs zu den merkwürdigsten Verschiedenheiten der Reactionen vorzüglich die chemischen und die Leitungsverhältnisse gehören, welche durch die Entdeckungen Erman's über unipolare und bipolare Leiter, und namentlich noch durch die späteren Versuche über das Verhalten der Glühlampe [1] für den *Dualismus* so bedeutend geworden sind, und von welchen an seinem Orte näher die Rede seyn wird. Diesen specifischen Thätigkeiten müssen also auch nach dem ersten Satze eigenthümliche ätherische Flüssigkeiten zum Grunge liegen, deren eine die sogenannte *positive*, die andere die *negative* E. ausmacht.

Was nun das Verhältniſs dieser beiden ätherischen Flüssigkeiten gegen die übrigen Inponderabilien betrifft, insbesondere gegen diejenigen, von welchen die Wärme und Lichtthätigkeit abhängt, so ist es als eben so ausgemacht anzusehen, daſs sie mit diesen nicht identisch sind, möge man nun diese Verschiedenheit mit Oersted als eine bloſse Verschiedenheit der Wirkungsform derselben Grundkräfte, oder als eine Verschiedenheit der Materien selbst betrachten. Eben so unleugbar ist aber auch, daſs sie mit diesen Inponderabilien in einem genauen Verkehr stehen, der jedoch bis jetzt noch nicht vollkommen genügend aufgeklärt werden konnte. Was zuerst die Beziehung auf die *Wärme* betrifft, so haben noch vor den Galvanischen Versuchen schon die früheren, vorzüglich von van Marum angestellten [2] wenigstens den *negativen* Werth gehabt, daſs sie für die Beseitigung irriger Ansichten ganz entscheidend waren. Es folgt nämlich aus denselben unwidersprechlich, daſs keine von den beiden Elektricitäten an und für sich durch Wärme thätig ist, da auch die durch die stärkste Maschine aufs Maximum der Spannung geladenen Conductoren

---

1 Schriften der Berl. Akad. der Wissensch. Berl. 1820. S. 351.

2 Seconde continuation etc. p. 84 ff.

an der möglichst geringen Masse nicht die mindeste Temperaturerhöhung erzeugen, dafs dagegen die Wärme im Conflicte der beiden Elektricitäten oder im Processe ihrer Ausgleichung zum Vorschein kommt. Dafs zu dieser Wärmeerzeugung die Luft nicht wesentlich nothwendig sey, ja dafs sie vielmehr die Wärmeerzeugung vermindert, indem sie vermöge ihrer Capacität einen Theil der thätig gewordenen Wärme latent macht, ergab sich gleichfalls aus diesen Versuchen, indem derselbe el. Strom, über die Kugel eines Thermometers geleitet, in demjenigen Verhältnisse mehr Wärme erzeugte, in welchem die Luft mehr verdünnt war. Die Wärme hat also ihren Ursprung weder einer mechanischen Compression der Luft, noch einem chemischen von der Luft abhängigen Processe (entweder einer Verbindung des Sauerstoffs mit dem Stickstoffe, oder einer Oxydation der Körper, über welche der el. Strom hingeht) zu verdanken. Würde die Ausgleichung der beiden Elektricitäten, ohne durch die Natur des Körpers, an welchem oder um welchen herum sie sich befindet, modificirt zu werden, lediglich im Verhältnisse der sich ausgleichenden Quantitäten eine Temperaturerhöhung geben, so könnte man unbedingt den Satz aufstellen, dafs die Elektricitäten selbst gebundenen *Wärmestoff* enthalten, der frei werde, sobald das $\pm$ E seinem stärkern Zuge zum $\mp$ E folge, um sich zu 0 zu vereinigen. Aber diesem widerspricht die Erfahrung. Wärme entsteht nur in dem Verhältnisse, in welchem die Elektricitäten, wenn gr sfe Quantitäten mit einander in Conflict kommen, in ihrer Ausgleichung Widerstand finden, oder in dem Verhältnisse, in welchem sie nicht vollkommen geleitet werden. Gier bleibt also immer noch der mögliche Fall, dafs eine Reaction der Elektricitäten gegen den relativ unvollkommenen Leiter, auf eine ähnliche Weise wie sonst durch Druck oder Reiben die höchsten Grade von Hitze erregt werden können, die Quelle der Temperaturerhöhung werde. Indefs stimmen hinwiederum manche Versuche, doch nur unvollkommen mit einer solchen Erklärung überein namentlich der oben erwähnte van Marum'sche; wo es nicht recht zu begreifen ist, wie ein von dem Ende eines kleinen hölzernen Cylinders ausgehender und um die Kugel des Thermometers sich verbreitender el. Strom an dieser Kugel selbst eine *Reibung* hervorbringen soll. Auch müfste man annehmen, dafs sehr dünne Platindräthe, die durch einen fortdauernden

el. Strom eines Hare'schen Calorimotors [1] in beständigem Weifsglühen erhalten werden können, und also fortdauernd Licht und Wärme ausstrahlen, gleichsam ein unerschöpfliches Magazin von beiden wären. Es ist also allen übrigen Erklärungen analoger, dafs die Quelle der Wärme sich in den Elektricitäten selbst finde, und dafs dieselbe durch ihre Reaction auf einander frei werde. Da nun nicht jede Art der Ausgleichung oder Verbindung der beiden Elektricitäten zu 0 Wärme erzeugt, sondern nur eine mit Widerstand verbundene, so läfst sich annehmen, dafs in Folge der damit gegebenen starken Verdichtung der Elektricitäten eine wahre Zersetzung derselben statt finde, und dafs mit dieser Zersetzung ihr vorher gebundener Wärmestoff frei werde. Es folgt daraus aber auch, dafs der so *zersetzte Antheil* für die Bildung von 0 verloren gehe, und da blofser Wärmestoff an und für sich noch nicht E. ist, so fragt sich, unter welcher Gestalt dann etwa jene andern Stoffe, welche im engern Sinne das eigentliche Grundwesen der Elektricitäten bilden, zu Vorschein kommen. Hier stellt sich uns indefs eine noch in Dunkel gehüllte Seite der E. entgegen. Dafs aufser der Wärme (und dem Lichte) noch etwas anderes bei dieser Zersetzung frei werde, zeigt der so höchst eigenthümliche und auffallende *Phosphorgeruch*. Auch manche Erscheinungen beim Einschlagen des Blitzes, wo durch schnelle Verdichtung grofse Massen von E. auf einmal zersetzt werden, deuten auf ein solches Präcipitat [2]. Ritter schlug vor, sehr vielmal nach einander grofse Batterieen durch einen Eisendraht sich entladen zu lassen, und dann nachzusehen, welche Veränderung er erlitten haben möchte. Vielleicht würde man dann jenen *eigenthümlichen el. Stoff*, den wir noch immer suchen, finden.

Auch den *Lichtstoff* hat man aus denselben Gründen wie den Wärmestoff in den Elektricitäten selbst anzunehmen. Wenn dieser, wie Röslin weitläuftig zu beweisen sucht, durch die E. erst bei ihrem Ausbruche, weil sie dann die umgebende Luft an Dichtigkeit übertreffe [3], der Luft entzogen werden soll, und zwar durch eine dann stärkere Anziehung, als die der Luft gegen ihn, so ist nicht abzusehen, wie er im Augenblicke der

1 S. *Galvanismus* und *Trogapparate*.

2 Vergl. *Blitz*.

3 Wie Luft und E. in Rücksicht auf Dichtigkeit einander vergleichbar seyen, ist nicht wohl begreiflich.

Anziehung auch wieder frei zu strahlendem Lichte wird. Auch steht dieser Erklärung der glänzende el. Funke bei der Berührung der Leitungsdrähte einer starken Volta'schen Säule unter Wasser, Oel u. s. w. entgegen. Die Befreiung des Lichtes beruht auf einem ähnlichen Zersetzungsprocesse durch bloſse Verdichtung (wobei de Lüc's Theorie vollkommen anwendbar ist), doch entweicht das Licht noch leichter als die Wärme, da es mit viel gröſserer Expansivkraft als diese begabt, und daher loser geburden ist; daher viele el. Lichterscheinungen ohne Wärmeveränderung.

Der *Unterschied* und *Gegensatz der beiden Elektricitäten* kann nicht bloſs in dem quantitativen Verhältnisse dieser beiden Inponderabilien (Wärme und Licht) liegen, da die so starke Anziehung jener gegen einander aus einer solchen Zusammensetzung gar nicht begreiflich wäre. Wir müssen vielmehr für jede derselben wie schon oben bemerkt ist, eine *eigenthümliche Grundlage* annehmen, die wir das *Elektrikon* im engern Sinne nennen wollen. Doch kann allerdings auch das verschiedene quantitative Verhältniſs jener Inponderabilien mit Antheil an ihrem verschiedenen Verhalten haben. Bei gleicher relativer Quantität des — E in Beziehung auf das + E, so daſs nie vollkommene Neutralisation aus ihrer Verbindung resultirt, bringt Letzteres gröſsere Wärme hervor. Dies zeigt sich sowohl in gewöhnlich el. als galvanichen Versuchen. Erstere sind in dieser Hinsicht weniger sicher, weil z. B. beim Entladen einer Leidner Flasche jedesmal Uebergewicht auf derjenigen Seite ist, von wo aus die Ladung erfolgt, und wo sich die freie Spannung befindet. Dagegen geben die galvanischen Versuche ein unzweideutiges Resultat, weil die beiden Pole einer Säule in der Gröſse ihrer Spannung einander vollkommen gleich sind. So fand z. B. Childern in seinen Versuchen mit seinem galvanischen Riesenapparate von 20 Plattenpaaren von Zink und Kupfer, von 6′ Länge und 2′ 8″ Breite oder von 32 Quadratfuſs auf beiden Seiten zusammen, daſs unter ganz gleichen Umständen, als nämlich gleiche Menge von Quecksilber in zwei Schalen von gebranntem Thon mit den beiden Polen der Säule und unter sich durch Platindrähte von solcher Dicke und Länge, daſs der el. Strom sie stets rothglühend erhielt, in Verbindung gesetzt wurden, das Quecksilber am — Pole nach 20 Minuten

auf 112°, am + Pole dagegen auf 121° F. stieg [1], und wenn man eine mächtige Volta'sche Säule durch einen Kohlenstift von etwa 2 — 3″ Länge und 1‴ Dicke entladet, so fängt dieser Stift an beiden Enden an zu glühen, jedoch am + Ende etwas früher. Von diesem geringeren Verhältnisse des gebundenen Wärmestoffs in der negativen E. mag es auch herrühren, dafs bei gleicher Intensität die Funken aus dem negativen Conductor stets kürzer sind, als aus dem positiven, und die negativen Feuerbüschel sich viel weniger als die positiven ausbreiten. Einige Versuche scheinen darauf hinzudeuten, dafs der in beiden Elektricitäten gebundene Lichtstoff nicht von gleichartiger Beschaffenheit ist, sondern in demselben eine Art von polarischem Gegensatze wie im Sonnenspectrum statt finde.

Wenn man auf den el. Funken genau achtet, so kann man in sehr vielen Fällen die beiden Hälften, aus denen er besteht, schon an der Farbe von einander unterscheiden, besonders wenn die Funken nicht zu kurz sind, sondern die Auffangkugel beinahe die gröfste Entfernung hat, bei welcher noch Funken überschlagen; die positive Hälfte erscheint dann stets mehr purpurfarben, und die negative Hälfte blau, auch ist der weit ausgebreitete positive Feuerbüschel mehr von der erstern, der kurze negative Feuerbüschel mehr von der letzteren Farbe. Es wirkt aber gerade auch die positive E. gleich dem rothen Lichte mehr oxydirend und erwärmend, und die negative E. gleich dem blauen Lichte vielmehr desoxydirend und weniger erwärmend. Da indessen die Farbe des el. Funkens noch durch manche andere Umstände, insbesondere durch die Natur des Mediums, durch welches er hindurch schlägt, bestimmt wird [2], so ist diese auf einem Farbengegensatze in den beiden Elektricitäten gegründete Anzeige zweideutig.

Was endlich die Erregungsart der E. durch Reiben betrifft, welche hier vorzüglich in Betrachtung kommt, so scheint wenigstens soviel ganz ausgemacht, dafs sie von einem chemischen Processe, namentlich von einer Oxydation eines der beiden an einander geriebenen Körper durch die umgebende Luft ganz unabhängig ist, in welcher Hinsicht ich auf die obige Prüfung der Parrot'schen Oxydationstheorie verweise. Uebrigens ist der

---

1 G. XXII. 353.

2 S. *Funken, elektrischer.*

Vorgang hierbei noch in ein tiefes Dunkel gehüllt, dessen Zerstreuung weiteren Untersuchungen überlassen bleiben mufs. Dafs man solche Dunkelheiten durch blofs Worte, die im Grunde nichts mehr enthalten als die nackte Erscheinung, nicht aufzuhellen vermöge, bedarf nicht erinnert zu werden. Dieses gilt z. B. von dem „Resultate aller Resultate," welches Jos. Weber aus seinen vielfachen Reibungsversuchen mit seidenen Bändern gezogen hat [1], wonach die E. nichts weniger als materiell, sondern die allgemeine Kraft in Form der Fläche sich manifestirend, und zwar das 0 E. die Synthese von Expansion und Contraction oder indifferent, das + E die dynamische Flächenkraft von positivem Charakter = Expansion, das — E die dynamische Flächenkraft von negativem Charakter = Contraction seyn soll, und der ganze Reibungs-Procefs darin bestehe, dafs sich die indifferente Flächenkraft differenziire!! Ohngefähr von derselben Art sind die sogenannten naturphilosophischen Constructionen der E., welche Jos. Weber zum Vorbilde gedient haben, wie z. B. von Oken [2], wo Elektrismus eine Flächenfunction ohne alle Linie genannt wird, welche nur die *Spannung* der Oberflächen der Körper gegen einander sey. Weiterhin wird aber derselbe Elektrismus auch *Spannung der Luft* mit den einfachen Elementen, und also auch *Spannung der Luftprincipien* selbst genannt, ferner Duplicität geheftet an die beiden Luftprincipien Licht und Aetherspannung, erscheinend unter zwei Formen als *Lichtstoff*- und als *Schwerestoff*- elektrismus, ersterer das + E, das energischere, in sich selbst active, der Lichtelektrismus dargestellt im Sauerstoffe. Weniger willkürlich und sich genauer an die Erscheinungen anschliefsend ist die gleichfalls aus gewissen höheren Principien einer a priorischen Physik abgeleitete Construction der Phänomene der E. von Dr. Bartels [3], doch ohne dafs auch durch diese Darstellung die wahren Dunkelheiten in dieser Lehre weiter aufgeklärt worden wären. Eine weitere Darstellung solcher

1 Das Wesen der E. u. s. w. Sulzbach 1819.

2 Lehrbuch der Naturphilosophie I. 112.

3 Anfangsgründe der Naturwissenschaft, 1stes Bänd., Leipz. 1821. S. 227 ff.

hyperphysischer Theorien liegt aufser dem Plane eines physikalischen Wörterbuchs [1]. *P.*

---

1 Zur Literatur über die Elektricitätslehre mögen aus der grofsen Menge von Schriften, worin dieselbe im Ganzen abgehandelt ist, nur diejenigen hier erwähnt werden, die auf irgend eine Weise Epoche machten, und auch in unsern Tagen noch einiges Interesse haben.

J. G. Krünitz. Verzeichnifs der vornehmsten Schriften von der E. und den el. Curen. Halle 1769. 8. Jos. Priestley. Geschichte und gegenwärtiger Zustand nebst eigenthümlichen Versuchen, übersetzt von J. G. Krünitz 1772. gr. 4. K. G. Kühn. Geschichte der medicinischen und physikalischen E. und der neuesten Versuche in dieser nützlichen Wissenschaft. Leipz. 1783. 1785. 2 Thle. 8. K. G. Kühn. Die neuesten Entdeckungen in der physikalischen und medicinischen E. als eine Fortsetzung der Geschichte u. s. w. 1ter Thl. Leipz. 1796. 8. 2ter Thl. Leipz. 1797. Lettres sur l'électricité par Mr. l'abbé Nollet. Paris 1753. 8. J. Alb. Euler disquisitio de causa physica electricitatis ab acad. scient. petropol. praemio ornata Petrop. et Lips. 1755. B. Franklin's Briefe von der E. aus dem Engl. übers. mit Anmerkungen von Wilke. Leipz. 1758. 8. F. U. Th. Aepinus tentamen theoriae Electricitatis et Magnetismi. Petrop. (1759) 1787. 4. Tib. Cavallo vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der E. aus dem Engl. übers. von J. S. T. Gehler 1777. 4. Ausg. von Baumann. Leipz. 1797. 2. Bd. 8. J. Ingenhouss. Anfangsgründe der E. aus dem Engl. von Molitor Wien. 1781. 8. J. A. Donndorf. Lehre von der E. theoretisch und praktisch auseinander gesetzt. Erfurt 1784. 2 Thl. 8. Adam's Versuch über die E. aus dem Engl. Leipz. 1785. 8. John Cuthbertson's Abhandlung von der E. Aus dem Holländischen. Leipz. 1786. 8. Martinus van Marum. Beschreibung einer ungemein grofsen Elektrisirmaschine und der damit im Teyler'schen Museum zu Haarlem angestellten Versuche. Aus dem Holl. Leipz. 1786. 4. Erste Fortsetzung aus dem Holl. Leipz. 1788. 4. Zweite Fortsetzung. Leipz. 1798. 4. Lord Mahon. Grundsätze der E. aus dem Engl. mit Anm. von Seeger. Leipz. 1789. 8. Lichtenbergs Zusätze zu Erxlebens Anfangsgründen der Naturlehre. Sechste Auflage. Gött. 1794. 8. Joh. Ant. Heidmann. Vollständige auf Versuche und Vernunftschlüsse gegründete Theorie der E. zwei Bände Wien 1799. 8. Haüy's Darstellung der Theorie der E. und des Magnetismus. Aus dem franz. übers. von D. Karl Murhard. Altenburg, 1801. 8. J. W. Ritter das el. System der Körper. Leipz. 1805. 8. M. Gälle. Beiträge zur Erweiterung und Vervollkommung der Elektricitätslehre. Salzburg. 1816. 8. 2 Bde. G. J. Singer. Elemente der E. und Elektrochemie. Aus dem Engl. von C. H. Müller. Berlin 1819. Chr. L. Röslin Kritische Prüfung und Berichtigung der bisherigen Elektricitätslehre. Ulm 1823. 8. Sammlung elektrischer Spielwerke für junge Elektriker. 9te Auflage mit 9 Kupfern. gr. 8. Nürnberg. 1804.

Elektricität, medicinische.

Electricitas medica; Électricité medicale; *Medical Electricity*. Unter diesem Namen werden die Anwendungen der E. in der Medicin als Heilmittel gegen verschiedene Krankheiten, und als Widerbelebungsmittel im Scheintode begriffen.

So wie die Wirkungen der E. durch Erfindung der Elektrisirmaschine, noch mehr aber durch die der Kleist'schen Flasche vorzüglich auf den menschlichen Körper in einem so hohen Grade verstärkt worden waren, konnte der Gedanke nicht lange ferne bleiben, die E. auch als Heilmittel in Krankheiten anzuwenden. Einige auffallende Curen bedeutender Krankheiten brachten dieses Mittel erst in sehr groſsen Ruf; da die zu hochgespannten Hoffnungen indeſs nicht immer erfüllt wurden, und bei der damals noch unvollkommenen Theorie auch Miſsgriffe unvermeidlich waren, kam das erst so hoch gepriesene Mittel wieder in Miſscredit. Erst nach Irrthümern und Uebertreibungen kam man allmälig zur richtigen Würdigung desselben, und da in spätern Jahren bei dem steigenden Interesse an der E, sowohl Physiker als Aerzte sich häufig mit der Anwendung dieses Mittels in Krankheiten beschäftigten, so haben wir dadurch einen reichen Vorrath von Erfahrungen gewonnen, aus welchem sich jetzt mit hinlänglicher Sicherheit allgemeine Resultate über die Wirkungsart und die Heilkräfte der E. so wie Vorschriften für ihre Anwendung ableiten lassen. Wir schränken uns hier nur auf das Wesentlichste ein, soweit die eigentliche Physik hierbei eine Stimme hat und zur Aufklärung und Leitung des Arztes beitragen kann, da das genauere Detail vorzüglich über die glückliche Anwendung der E. in verschiedenen Krankheiten mehr in die Arzneikunde gehört.

I. Das Historische.'

Kratzenstein wird als der erste angeführt, der im Jahre 1744 zu Halle die Lähmung eines Fingers durch E. gehoben hat. Im Jahre 1748 heilte Jallabert zu Genf eine durch den Schlag eines Hammers entstandene Lähmung des Arms durch Elektrisiren mit Funken und Erschütterungen, worauf Sauvages zu Montpellier diese Curen vervielfältigte und berühmt machte. Die unschickliche Wahl der Behandlung verursachte

aber gerade in dieser ersten Periode, dafs die Proben nicht stets so ausfielen, als man wünschte, unstreitig darum, weil man die Kranken durch allzustarke Schläge aufs heftigste angriff und fast mifshandelte. Daher wurden die Meinungen sehr getheilt und häufige Streitschriften gewechselt. Dr. HART[1] und FRANKLIN[2] führen Fälle an, wo die E. nicht geholfen, vielmehr wohl gar geschadet haben soll, aber FRANKLIN verfehlte die erst später in ihrem ganzen Umfange erprobte gelindere Anwendungsart der E. LOWER[3] schlug zuerst diese gelindere Behandlung durch einfaches Elektrisiren auf dem Isolirgestelle, Funken und höchstens schwache Erschütterungen vor, und verrichtete auf diesem Wege so wie der berühmte WESLEY eine grofse Menge glücklicher Curen. Auch DE HAEN[4] erklärte sich sehr für den medicinischen Gebrauch der E., wovon FERGUSON[5] und HARTMANN[6], in ihren damals erschienenen Schriften viele vortheilhafte Beispiele anführen. Von dieser Zeit an ist der Gebrauch der E. in Krankheiten vorzüglich durch die englischen Aerzte empor gekommen, namentlich durch PARTINGTON[7], dem man insbesondere die Einführung der sogenannten *Directoren* verdankt, FOTHERGILL[8] BIRCH[9] u. a. CAVALLO erwarb sich ein besonderes Verdienst durch eine diesem Gegenstande eigends gewidmete Schrift[10]. Doch auch die deutschen und holländischen Physiker und Aerzte blieben nicht zurück, unter welchen vorzüglich genannt zu werden verdienen: KÜHN[11],

1 Philos. Transact. XLVIII. P. II. p. 786.

2 Philos. Transact. Vol. L. P. II. p. 481.

3 Electricity rendered useful. London 1760. 8.

4 Ratio medendi Vol. I. p. 234.

5 Introd. to electricity. London 1770. 8. Sect. 8.

6 Die angewandte E. bei Krankheiten des menschlichen Körpers. Hannover 1770. 8.

7 Cavallo's vollst. Abhandl. der E. Bd. II. Leipz. 1797. S. 57 ff.

8 Philos. Transact. Vol. LXIX.

9 Considerations on the efficacy of electricity in removing female obstructions etc. übers. in der Sammlung auserlesener Abhandl. zum Gebrauche praktischer Aerzte. V. St. 4. N. 1.

10 Essay on the theory and practice of medical electricity London 1780.

11 Geschichte der medicinischen und physikalischen E. und der neuesten Versuche, die in dieser nützlichen Wissenschaft gemacht worden sind. Leipz. 1785. 2 Thle.

Böckmann [1], Wilh. van Barneveld [2], van Troostwyck, Krayenhoff [3] und Deimann [4]. Trotz der vielen günstigen Erfahrungen, welche diese verschiedenen Schriften enthalten, wird indeſs die E. in der jetzigen medicinischen Praxis doch nur selten angewandt, weil die Mittel dazu zu umständlich und wohl auch zu kostbar sind, und in neuern Zeiten ist sie vollends durch die Anwendung des Galvanismus verdrängt worden.

II. Verschiedene Anwendungsarten der E. in Krankheiten und dabei gebräuchliche Werkzeuge.

Man kann die E. zur Heilung der Krankheiten in sehr verschiedenen Graden anwenden, welche nach der besondern Form, in welcher die E. hierbei wirkt, auf fünf Hauptabstufungen zurückgebracht werden können, nämlich 1. das el. Bad.; 2. das unmerkliche el. Durchströmen. 3 der el. Hauch oder das el. Ausströmen; 4. die Funken; 5. die el. Schläge oder die verstärkte E. Jede dieser 5 Hauptarten läſst wieder in Rücksicht auf die Stärke ihrer Einwirkung mannigfaltige Modificationen zu.

1. *Das el. Bad.* Hierbei wird der Körper des Kranken gleichsam mit E. angefüllt, indem man denselben isolirt, und mit dem Leiter der Elektrisirmaschine in unmittelbare Verbindung setzt. Zu dieser so wie zu einigen der nachfolgenden Anwendungen ist ein gut eingerichtetes *Isolatorium* erforderlich. Dieses wird am besten aus einem hinlänglich groſsen und starken Brette von gut ausgetrocknetem Holze, um nöthigenfalls einen Stuhl darauf setzen zu können, verfertigt, das an den Ecken abgerundet, gut lackirt ist, und auf vier starken, einen guten halben Fuſs langen, wohl überfirniſsten, massiven Glassäulen ruht. Böckmann hat für gewisse Fälle ein el. *Bette* vorgeschlagen, wo-

1 Ueber die Anwendung der E. bei Krankheiten. Durlach 1787.

2 Medicinische E. Aus dem Holländischen. Leipz. 1787. 8.

3 De l'application de l'électricité à la médecine 1788. 4.

4 Von den guten Wirkungen der E. in verschiedenen Krankheiten. Aus dem Holländischen. Mit Anmerkungen und Zusätzen von Kühn. Kopenhagen 1793. 2 Bde.

von das Wesentliche in Folgendem besteht. Das *Bettgestell* wird von einem sehr trockenen, mit Firniſs überzogenen, oder noch besser von einem im Backofen gedörrten und mit Oel getränkten Holze gemacht, und von 6—8 gläsernen mit Siegellack überzogenen Füſsen getragen. Die *Bettstücke* bestehen aus 1 bis 2 Haar-Matratzen, 1 oder 2 ähnlich gefüllten Kissen und einer leichten Decke. Die übrigen Apparate, die zu diesem Bette gehören, beziehen sich auf die zweckmäſsige Zuleitung und Einwirkung der E. auf den Kranken und die einzelnen Theile desselben, von denen im Fortgange die Rede seyn wird. Zwischen dem Kranken, der sich auf dem Isolatorium oder in dem isolirten Bette befindet, und dem Conductor der Maschine wird eine Verbindung durch eine Kette gemacht, an welcher alle Spitzen und scharfe Ecken, um das Ausströmen zu verhüten, so viel möglich zu vermeiden, und deren Gelenke von etwas dickerem Metalldrahte zu verfertigen sind. Cavallo empfiehlt zu eben diesem Zwecke sehr passend die leitende Verbindung aus Gold-, Silber- oder Kupferfäden zu machen, dergleichen man zu den Tressen gebraucht, und welche aus dünnen Metallblättchen bestehen, die um einen seidenen oder leinenen Faden gewunden sind. Um einige solcher Metallfäden wickelt man ein seidenes Bändchen dicht herum, und näht es zusammen, so daſs nur an jedem Ende ein kleines Stück der Metallfäden unbedeckt bleibt, von welchem das eine an dem ersten Leiter, das andere an einem Theil des Kranken, der zu diesem Behuf eine Hülle von Flanell mit Rauschgold oder unächtem Goldschaum gefüttert und mit einem Oehre versehen, bedeckt seyn kann. In andern Fällen kann man die E. auch mit andern Instrumenten unmittelbar auf den Kranken einwirken lassen. Die Verbindungskette wird der *Zuleiter* genannt. Von der Anwendung des el. Bades ist wohl am wenigsten zu erwarten, da die E. überhaupt nur in ihrem freien Durchströmen sichtbare Wirkungen auf den menschlichen Körper hervorbringt, und da schon oben[1] angeführte Versuche bewiesen haben, daſs die Beschleunigung des Pulses und Vermehrung der Ab- und Aussonderungen, insbesondere der unmerklichen Ausdünstung, welche man dieser Anhäufung der E. im menschlichen Körper, an dessen Oberfläche sie indeſs nur verdichtet ist,

1 Vergl. *Elektricität.*

zugeschrieben hat, in der Erfahrung der Regel nach nicht gegründet sind. Da indeſs gewisse Personen für die E. sehr empfindlich sind, und doch immerfort ein Abfluſs der zum Kranken geleiteten E. durch die Haare und durch die unmerkliche Ausdünstung geschieht, der bei einem reichlichen Zuflusse von einer sehr wirksamen Maschine aus in Betracht kommen kann, so läſst sich der Nutzen, welchen das el. Bad in einzelnen Fällen geleistet hat, nicht durchaus bezweifeln.

2. *Das mehr unmerkliche Durchströmen der E. durch den Körper.* Die Bedingung zu demselben ist, daſs die E. durch einen ununterbrochenen Leiter, von dem Conductor aus, welchem die E. von der Elektrisirmaschine zugeführt wird, nach dem Erdboden oder dem entgegengesetzten Conductor abgeleitet werde, und der Theil des menschlichen Körpers, auf welchen dieser ununterbrochene Strom wirken soll, einen Theil dieser Leitung bilde. Wenn man irgend einen Theil zwischen zwei Zuleiter einschlieſst, wovon der eine mit dem positiven Conductor, der andere mit dem isolirten Reibzeuge verbunden ist, so geht gleichsam ein doppelter el. Strom durch denselben, der negative von dem Reibzeuge, der positive von dem Conductor her, und diese Anwendungsart des sogenannten unmerklichen el. Stromes ist unstreitig die wirksamere, wenn gleich auch bei einer bloſs einseitigen Verbindung des zu elektrisirenden Theils mit dem einen oder andern Conductor und der Ableitung von der andern Seite nach dem Erdboden in gewissem Sinne ein doppelter Strom statt findet, der nur von der 0 Seite her immer schwächer ist, als von derjenigen Seite aus, von welcher der Strom durch die freie E. eingeleitet wird. Wenn gleich dieser unmerkliche el. Strom, selbst von der stärksten Elektrisirmaschine ausgehend, keine Empfindung oder sonstige unmittelbar bemerkliche Veränderung in dem durchströmten Theile hervorbringt, so ist demselben doch nicht alle Wirksamkeit abzusprechen, da namentlich die Erfahrung einen bemerklichen Einfluſs auf die Beförderung der monatlichen Reinigung bewiesen hat, wenn dieser Strom quer durch das weibliche Becken geleitet worden ist, indem man einerseits den positiven Zuleiter in die Gegend der Lendenwirbel in ein Häkchen an den Kleidungsstücken, oder noch besser, in einem die Haut unmittelbar bedeckenden, mit unächtem Golde gefütterten Flanell einhängte, während der negative Zuleiter in den Schooſs der

sitzenden Kranken gelegt wurde. Es gilt übrigens für die Anwendungsart dieses doppelten el. Stromes alles dasjenige, was noch unter dem Artikel *Galvanismus* und *Volta'sche Säule* über die Anwendung des Stromes dieser letztern vorkommen wird, mit dem er im Wesentlichen übereinstimmt, dem er jedoch an Intensität weit nachsteht.

3. *Der el. Hauch oder Wind, oder das el. Ausströmen.* Dies ist eine vorzüglich wirksame Methode des Elektrisirens in Krankheiten, die vorzüglich der Engländer PARTINGTON eingeführt hat, welche oft allein zur Heilung hinreicht, und mit welcher man in sehr vielen Fällen am besten den Anfang macht. Sie besteht wesentlich darin, daſs man den aus Spitzen, nach Beschaffenheit dieser letzteren, mit verschiedener Stärke ausströmenden el. Feuerbüschel auf den kranken Theil wirken läſst. Zunächst bringt er zwar die Empfindung eines sanften Windes oder Hauches hervor, aber länger auf sehr empfindliche Theile z. B. die Augen einwirkend, erregt er zuletzt das Gefühl einer leichten Wärme, und vermehrt die Absonderung der Thränen. Man bedient sich eigener sogenannter *Directoren*, welche aus geraden oder am Ende gebogenen messingenen Stäben bestehen, die durch gut überfirniſste Handgriffe in Glas isolirt, mit einem Haken versehen sind, um den Zuleiter bequem einhängen zu können, und auf deren Enden zugespitzte Kegel theils von Metall, theils von Holz sich aufschrauben lassen. *Metallene* in eine feine Spitze auslaufende *Kegel* geben den mildesten Strom, einen stärkeren etwas *abgestumpfte*, den stärksten aber Kegel von nicht zu trockenem Holze, am besten Buchsbaumholze, die man von einer Länge von 1 bis 1,5 Zoll mehr oder weniger spitz auslaufend nimmt, und deren Strom aus einer groſsen Anzahl ungemein kleiner Funken besteht, die sehr bald in dem Theile, auf welchen sie wirken, Wärme erzeugen. Man kann auch diesen Strom auf den Kranken wirken lassen, indem man ihn auf dem Isolatorium mit dem isolirten Leiter in Verbindung setzt, und die Spitze, die dann selbst mit dem Erdboden leitend verbunden seyn muſs, dem zu elektrisirenden Theile nähert. Da man diese el. Ausströmung am häufigsten auf die Augen anwendet, so ist es zweckmäſsig, den Kegel in einer weiten Glasröhre zu befestigen, und zwar so, daſs sein hinteres abgestumpftes Ende aus der Glasröhre hervorragt, das bei der zweiten Art der An-

Fig. 35.

wendung zum Handgriffe dient, das vordere zugespitzte Ende hingegen einige Linien tief in der Röhre zurücksteht, um jede Verletzung des Auges durch die Spitze zu vermeiden. Indem man die hölzerne Spitze mit angemessenen Flüssigkeiten z. B. mit Kamphergeist, Rosmarinöl, Kajaputöl u. s. w. befeuchtet, oder bei Anwendung eines Metallconus an ihrem zugespitzten Ende ein mit diesen Flüssigkeiten getränktes Schwammstückchen befestigt, so kann man sehr bequem jene in Dunst sich verwandelnden Flüssigkeiten auf eine gelinde Art auf das Auge einwirken lassen.

Um den el. Strom tief in das Innere des Gehörganges zu bringen, bedient man sich einer Glasröhre von der Dicke eines Pfeifenstiels, welche hinlänglich stark in ihren Wandungen ist, damit sie nicht leicht zerbrochen werden könne, 3 bis 4″ lang, in ihrem Innern einen dünnen Messingdraht enthaltend, welcher von dem einen Ende kaum aus der Oeffnung der Glasröhre hervorragt. Um ihn in dieser Lage zu erhalten, schmelzt man die Glasröhre an diesem Ende um ihn her zu. Dadurch wird dieser Theil, welcher bestimmt ist, in den Gehörgang gebracht zu werden, kuglich und abgerundet, das entgegengesetzte Ende des Messingdrahtes steht aus der Glasröhre hervor und ist hakenförmig umgebogen, um den Zuleiter einhängen zu können.

Fig. 36.

4. *Einfache Funken.* Man kann sie entweder aus dem Theile des auf dem Isolatorium befindlichen, und mit dem Conductor leitend verbundenen Kranken *ausziehen*, oder dem nicht isolirten Kranken vermittelst des am isolirten Handgriffe gehaltenen, und durch den Zuleiter mit dem Conductor der Maschine verbundenen, Directors *zuführen*, an dessen Messingdraht vorn statt des zugespitzten Conus eine Kugel aufgeschraubt ist. Kleine, aber sehr stechende, empfindliche Funken giebt eine auf den Director aufgeschraubte Kugel von hartem Holze. Führt man über den mit Flanell oder Baumwolle bedeckten, zu elektrisirenden Theil den Funkenzieher mit seiner Kugel unmittelbar hin und her, so bekommt dieser Theil eine Menge kleiner Funken, welche sehr bald Röthe der Haut und vermehrte Wärme hervorbringen. Um die Funken zu verstärken, kann man die Haut mit Oel einreiben; sie werden dann viel lebhafter empfunden und eine viel stärkere Röthe hervorbringen, als dieselben Funken an andern Stellen. Der

stärkere Widerstand des nicht leitenden Oels verursacht bei derselben Entfernung des Funkenziehers die Nothwendigkeit einer gröſseren Anhäufung der E. im Conductor.

Sollen sehr empfindliche Theile z. B. die Zunge, die Augen, das innere Ohr die Wirkung der Funken empfinden, so bedient man sich im Anfange sehr kleiner Kugeln, oder auch nur abgerundeter Drähte. Aus den geschlossenen Augenliedern nimmt man kleine Funken, und zugleich dann und wann aus dem obern und untern Rande der Augenhöhle, um den Ober- und Unter-Orbitalnerven zu treffen. Doch kann man auch aus dem Augapfel unmittelbar Funken zu ziehen veranlaſst seyn. Um Funken in das Innere des Gehörorgans zu leiten, bringt man den oben beschriebenen Draht in den Gehörgang so tief wie möglich, isolirt den Kranken, und zieht aus dem zum Haken umgebogenen Ende des Messingdrahtes den Funken aus. Bei Gehörkrankheiten kann man auch stärkere Funken aus dem zitzenförmigen Fortsatze ausziehen. Fig. 36.

5. *Elektrische Schläge.* Den stärksten Grad der Elektrisirung gewähren endlich die el. Schläge oder Erschütterungen. Zur Anwendung derselben bedient man sich am besten einer Ladungsflasche mit dem Lane'schen Ausladeelektrometer[1], durch das man dieselbe von den schwächsten Graden an bis zu jedem stärkeren sicher reguliren kann. Um die Schläge durch einen beliebigen Theil des Körpers zu leiten, bringt man diesen Theil in den Entladungskreis, indem man denselben zwischen zwei Zuleiter bringt, wovon der eine in den Ring der isolirten Metallstange gehängt wird, welche mit ihrer Kugel der Kugel des Zuleitungsdrahtes zur innern Belegung der Flasche gegenübersteht, und der andere mit der äuſsern Belegung verbunden ist. Als Beispiel diene die Art, wie z. B. eine el. Erschütterung auf diese Weise durch den vordern Theil des Armes hindurchgeleitet wird. GH ist die Ladungsflasche, B die Kugel des Zuleitungsdrahtes zur innern Belegung C E D F das Lane'sche Ausladeelektrometer, dessen isolirte Metallstange mit ihrer Kugel in einer bestimmten Entfernung der Kugel B gegenüber ist, von welcher Entfernung die Stärke des Schlages abhängt, die beiden Zuleitungsdrähte der positiven E. (wenn nämlich die Flasche im Innern mit positiver E. geladen ist) und der negative I sind mit Fig. 37.

1 S. *Elektrometer.*

den Metalldrähten der Directoren KL und K'L' verbunden, die vorzüglich geschickt sind, den Schlag durch jeden beliebigen Theil zu führen, indem sie auf die Enden desselben gesetzt werden. In dem gegebenen Falle geht der positive Strom den Arm abwärts. Bei entgegengesetzter Verbindung der Zuleiter würde er die umgekehrte Richtung nehmen. Bringt man die Kugel der Metallstange des Ausladeelektrometers bis auf 0,5 Linie oder selbst noch näher der Kugel der inneren Belegung gegenüber, so kann man bei einer Flasche von höchstens einem Quadratschuh Belegung auf der einen Seite mit sehr schwachen Schlägen den Anfang machen, und allmälig zu stärkeren durch Ausziehen der Stange bis zur Entfernung von einem Zolle und darüber steigen. Hat man kein Ausladeelektrometer, so kann man auch mit den bloſsen Directoren, wie leicht einzusehen ist, ausreichen, wobei die Stärke der Ladung, aber nicht mit derselben Sicherheit, nach der Zahl der Umdrehungen der Scheibe oder des Cylinders der Elektrisirmaschine bestimmt wird. Bei der Durchleitung des el. Schlages ist es oft sehr rathsam, an den zu elektrisirenden Theil eine mit einem Oehre zum Einhängen des Zuleiters versehene Bleiplatte anzubringen, damit der Schlag nicht zu heftig auf einen einzelnen Punct wirke. Eine eigenthümliche Modification der Entladung erhält man auch, wenn eine nasse Schnur einen Theil des Entladungskreises von der inneren Belegung aus bildet, wodurch der Schlag einigermaſsen mehr successiv gemacht wird. Zu solchen el. Erschütterungen in krankhaften Affectionen ist eine Flasche von höchstens einem Quadratfuſs Belegung auf der einen Seite vollkommen hinreichend, wozu man sich eines Zuckerglases, das höchstens 32 Unzen hält, und das innen und auſsen bis etwa zwei Zoll vom oberen Rande abwärts mit Stanniol belegt ist, bedienen kann.

Wenn man die Zuleiter auch nicht unmittelbar an den Theil, durch welchen man el. Schläge hindurchleiten will, anbringen kann, so muſs man solche Stellen auswählen, die demselben am nächsten und so gelegen sind, daſs wenigstens in dem Zwischenraume zwischen denselben der Theil sich befindet, auf welchen die E. einwirken soll. Besonders hat man hierbei auf die Lage und Richtung der Nerven, welche sich in den zu elektrisirenden Theil verbreiten, Rücksicht zu nehmen

III. Wirkungsart der E. im Allgemeinen auf den menschlichen Körper.

Die E. in ihrem Durchgange durch reizempfängliche Theile beweist sich im Allgemeinen als ein *mächtig eindringendes Reizmittel für die Nerven*, durch welche sie ihre Wirkung auf alle Theile ausdehnt, die ihr Leben hauptsächlich der Nerventhätigkeit verdanken; vorzüglich kräftig ist die Einwirkung dieses Reizmittels auf die Muskeln. Schon bloſse Funken, noch mehr el. Erschütterungsschläge bringen unwillkürliche Zuckungen in den unterhalb der Stellen, auf welche die E. unmittelbar einwirkt, gelegenen Muskeln hervor, die nicht immer durch die Empfindung vermittelt werden, denn selbst in gelähmten, der Empfindung beraubten, in ihrer thierischen Wärme herabgesunkenen und geschwundenen Gliedmaſsen erregt sie noch sehr bemerkbare Zuckungen, die nur in den seltensten Fällen[1] fehlen. Durch diesen Nervenreiz wirkt aber die E. nicht bloſs auf die eigentlichen Muskeln, sondern auch auf das Gefäſssystem, erhöht die Thätigkeit desselben, befördert dadurch den Zufluſs der Säfte und die Fortbewegung derselben, und beschleunigt in Folge dieser erhöhten Thätigkeit auch die animalisch chemischen Processe, womit Wärmeerhöhung gegeben ist. Es versteht sich von selbst, daſs die E. durch ihren kräftigen Einfluſs auch die Thätigkeit der eigentlichen Empfindungsnerven erhöht, und durch den Schmerz, den sie verursacht, noch einen accessorischen Reiz hinzufügt. Da die Erneuerung und Wiederherstellung der Lebenskraft wesentlich auf der Lebensthätigkeit der Theile selbst und insbesondere des Gefäſssystems beruht, so begreift man leicht, daſs die E. in gewissem Sinne auch als ein unmittelbar belebendes, die Reizbarkeit und Empfindlichkeit selbst wieder herstellendes, Mittel betrachtet werden kann. Dieselbe E. vermag aber auch durch zu heftigen Reiz und davon abhängige Ueberreizung die Reizempfänglichkeit eines Theiles entweder gänzlich oder auf einige Zeit aufzuheben, welche nach Umständen durch gelindere Grade der E. wieder hergestellt werden kann, wie man dann merkwürdige Fälle hat, daſs durch einen heftigen Blitzschlag in den Zu-

---

1 Kühn fand in 150 Fällen, die er von verschiedenen Beobachtern gesammelt hat, nur einen, in welchem sie ausgeblieben waren.

stand des Scheintodtes versetzte durch gelinde el. Schläge wieder ins Leben zurückgerufen worden sind[1]. Die genannten Wirkungen werden nur durch lebhafte Durchbewegung der E. mit einem grofsen Grade von Spannung durch die belebten Theile des menschlichen Körpers hervorgebracht, und eine blofse Anhäufung derselben mit relativer Ruhe, wie im el. Bade, kann nur in soweit als wirksam betrachtet werden, als durch das Ausströmen doch auch eine gewisse Bewegung desselben unterhalten wird.

Zwischen der Wirkung der positiven und negativen E. auf den menschlichen Körper als Heilmittel hat man bis jetzt keinen eigentlichen Unterschied wahrnehmen können. Wenn man die Analogie der galvanischen Erscheinungen zu Hülfe nimmt, so kann man annehmen, dafs die von dem Centralende nach dem peripherischen Ende der Muskelnerven abwärts strömende + E einen stärkern Reiz auf dieselben ausübt, als die in gleicher Richtung sich bewegende — E. Ob aber letztere bei dieser Art ihrer Einwirkung die Reizbarkeit der Muskeln auf eine directe Art zu erhöhen im Stande sey, wie dieses von dem in dieser Richtung sich bewegenden negativen Strome der *galvanischen* E. gilt, darüber fehlt es bis jetzt gänzlich an Erfahrungen.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Einwirkung der E. auf den menschlichen Organismus, läfst sich ihre Anwendung im Allgemeinen leicht bestimmen. In allen ächt entzündlichen Krankheiten und namentlich in allen Schmerzen, welche entzündlicher Art sind, in allen activen Congestionen und davon abhängigen anderweitigen krankhaften Zufällen kann die E. nur *schädlich* wirken. *Nützlich* ist sie dagegen in allen Krankheiten, welche von Torpor und Atonie der Gefäfse, und geschwächtem Nerveneinflusse abhängen, namentlich in allen Arten von Lähmungen sowohl der Sinnes- als der Bewegungsnerven, in manchen krampfhaften Krankheiten, entweder durch Aufreizung der Antagonisten der im Krampfzustande befindlichen Muskeln, oder durch Hebung einer kränklichen Reizbarkeit, in Krankheiten der Ab- und Aussonderungsorgane, welche von Unthätigkeit der Gefäfse oder von einem krampfhaften Zustande abhängen, davon abhängigen passiven Congestionen, Ge-

---

1 S. *Blitz*.

schwülsten, und sogenannten Verstopfungen, endlich in nervösen Schmerzen, welche sich zu den entzündlichen Schmerzen wie Kälte zu Hitze verhalten. Nur insofern, als die E. durch örtlichen Reiz das Leben eines äufseren Theils erhöht, Zuflufs der Säfte zu demselben, Röthe und Wärme hervorbringt, kann sie nach Art der sogenannten Ableitungsmittel auch in *entzündlichen* Krankheiten innerer Organe von Nutzen seyn.

IV. Allgemeine praktische Regeln bei Anwendung der E.

Cavallo hat diese Regeln sehr gut nach den vielen Erfahrungen englischer Aerzte festgesetzt. Sie sind folgende: 1. *Man mufs jedesmal mit den schwächeren Graden der E. den Anfang machen*, da es manche Kranke giebt, die für diesen Reiz auch in seiner gelindesten Einwirkung sehr empfindlich sind[1], und durch die gleich zu Anfange angewandten stärkeren Grade leicht überreizt werden könnten. Hat man die Behandlung einige Tage lang unwirksam gefunden, welches man daran erkennt, dafs keine merkliche Reaction, insbesondere keine Röthe der Theile, auf welche die E. unmittelbar eingewirkt hat, erfolgt ist, so kann man zu den stärkeren Graden übergehen, von denen man nachher wieder abwärts steigt, so wie sich im Laufe der Versuche eine erhöhte Reizempfänglichkeit für dieselben entwickelt.

2. Da die el. Ausströmungen und Funken sich vorzüglich wirksam bewiesen haben, von diesen aber und insbesondere von den ersteren in keinem Falle eine zu heftige Einwirkung zu befürchten ist, ihr Nutzen aber doch wesentlich darauf beruht, dafs sie mit einer gewissen Intensität wirken, so ist zur medicinischen E. *stets eine etwas stärkere Elektrisirmaschine nöthig*, eine solche nämlich, die aus ihrem ersten Leiter Funken von wenigstens drei Zollen giebt, denn el. Schläge, die man auch mit Hülfe kleiner Maschinen sehr weit treiben kann, können die Ausströmungen und Funken in *keinem Falle* ersetzen. Daher sind die kleinen englischen Patentscheibenmaschinen, deren Scheiben etwa 9″ im Durchmesser haben, und bei denen eine

1 Sentelin führt ein Beispiel von einer Person an, die schon in der durch die Bewegung einer Elektrisirmaschine elektrisirten Luft Leibweh und Durchlauf bekam.

Leidner Flasche statt des ersten Leiters dient, für den ganzen Umfang der medicinischen Anwendung der E. nicht geeignet, da sie eigentlich nur den Gebrauch el. Schläge zulassen, jedoch für einen Rettungsapparat sind sie allerdings zu empfehlen, da sie bei ihrer Kleinheit ungemein leicht transportirt werden können, und bei der Wiederbelebung von Scheintodten el. Erschütterungen die Hauptsache thun müssen.

3. Die *Zeit* und die *Dauer* der Anwendung betreffend ist die *Vormittagszeit* in der Regel die angemessenste, die Dauer aber nach der *Form der Anwendung* und nach dem *Zeitraume, während dessen man die E. bereits angewandt hat*, zu bestimmen. Die el. Ausströmung muſs man wenigstens 3, höchstens 10 Minuten einwirken lassen, Funken kann man 50 bis 100 nach der Reihe geben, und im Fortgange mit der Zahl steigen, doch mit der Vorsicht, daſs man bei fortgesetztem Gebrauche sie nicht immer auf dieselbe Stelle schlagen läſst, da sie sonst Geschwüre, die oft hartnäckig zu heilen sind, verursachen. Erschütterungsschläge darf man höchstens 15 nach der Reihe durch einen Theil gehen lassen. Die totale Dauer der Anwendung der el. Kur läſst sich schwer bestimmen, doch hat die Erfahrung gelehrt, daſs bisweilen erst nach mehreren Wochen die Besserung sich einzustellen angefangen hat.

4. Nach der allgemeinen Regel, daſs ein Reizmittel bei lange fortgesetzter Anwendung an Wirksamkeit verliert, und wenn der Gebrauch desselben eine Zeitlang ausgesetzt wird, die Reizempfänglichkeit für dasselbe wieder zunimmt, besonders wenn in der Zwischenzeit ein antagonistisches Reizmittel gebraucht worden ist, sollte man die *positive* Elektrisirung von Zeit zu Zeit mit der *negativen* abwechseln lassen, sowohl beim Gebrauche der el. Ausströmung, als auch bei demjenigen der el. Funken und Schläge, indem man die Anlegung der Zuleiter so ändert, daſs wenn einige Tage hindurch die positive E. die Nerven nach ihrem peripherischen Ende hin durchströmt hat, ihr alsdann einige Tage hindurch die entgegengesetzte Richtung gegeben wird, ehe man sie auf die erste Art anwendet.

5. Bei Schwangern müssen alle el. Erschütterungen überhaupt und selbst alle el. Strömungen durch die untere Gegend des Leibes sorgfältig vermieden werden, da sonst leicht zum Miſsgebähren Veranlassung gegeben werden könnte.

V. Einzelne Krankheiten, in welchen sich die E. vorzüglich wirksam bewiesen hat, und besondere Regeln für den Gebrauch derselben.

1. *Lähmungen der Muskeln.* Ueber den Nutzen der Elektrisirung in dieser Classe von Krankheiten findet man die ersten Beispiele in den Schriften über medicinische E., und zwar sowohl in Lähmungen nach Schlagflüssen als in gichtischen Lähmungen, in solchen, welche durch mechanische Gewalt, z. B. nach einem heftigen Falle entstanden, endlich selbst in solchen, welche auf Bleikolik folgten. Man fängt gleich mit der el. Ausströmung an, indem man den Kranken auf das Isolatorium bringt, das äufsere Ende des gelähmten Gliedes durch einen Zuleiter mit dem isolirten Reibzeuge in Verbindung setzt, und dem, dem Rumpfe am nächsten gelegenen Ende, besonders aber derjenigen Gegend, wo sich die grofsen Nervengeflechte, die das Glied versorgen, am nächsten befinden, den hölzernen Conus, der durch einen Zuleiter mit dem positiven Conductor verbunden ist, gegenüber hält. Man kann diese Einwirkung ¼ bis ½ Stunde fortsetzen, und nachdem man einige Tage damit fortgefahren, zu einfachen allmälig stärkeren Funken übergehen, welche längs dem Verlaufe der Hauptnerven des gelähmten Gliedes aus dem isolirten und mit dem positiven Conductor verbundenen Kranken ausgezogen, oder auch demselben im nicht isolirten Zustande durch den mit der Kugel versehenen Director beigebracht werden. Bei gichtischen oder rheumatischen Lähmungen nimmt man den Funken aus dem vorher mit Flanell umwundenen Gliede. Bei angeborener Schwäche der untern Gliedmafsen, die in ihrem Wachsthum zurückbleiben, werden die Funken aus der Gegend der untern Lendenwirbel gezogen. Auch die mit Zittern verbundene Schwäche der Glieder der Arbeiter, welche viel Quecksilber einathmen (Vergolder, Barometermacher) hat man mit Erfolg durch E. behandelt.

2. *Contracturen* besonders in Folge krampfhafter Krankheiten und nicht so eingewurzelte, dafs schon organische Entartungen eingetreten sind. Hier richtet man die Wirkung der E. vorzüglich auf die Antagonisten der in Zusammenziehung begriffenen Muskeln. Thiery erzählt einen merkwürdigen Fall von einer Zusammenziehung der Zunge in Folge eines Streif-

schusses am Kopfe durch eine Kanonenkugel, die durch Elektrisiren glücklich gehoben wurde [1]. In krampfhaften und gichtischen Anchylosen, wo also auch keine eigentliche Desorganisation oder Verwachsungen der Gelenke zum Grunde liegen, können die el. Ausströmungen, Funken und leichten Erschütterungen, die in verschiedenen Richtungen quer durch das Gelenk geführt werden, heilsam seyn.

3. *Lähmungen der Sinnesnerven.*

a. *Schwarzer Staar.* Hier fängt man mit der gelindesten Ausströmung aus Metallspitzen an, geht dann zur stärkeren Ausströmung aus dem Holzconus über, nimmt auch Funken aus dem untern und obern Augenbogen, um auf die Orbitalnerven zu wirken, dann aus den geschlossenen Augenliedern, und endlich aus dem geöffneten Auge selbst. Zuletzt kann man zu schwachen Erschütterungsschlägen übergehen, welche man quer durch den Vorderkopf vom Nacken aus nach der Supraorbitalgegend, und selbst durch das Auge vom Hinterkopfe nach vorne führt, so daſs der positive Strom die Richtung des optischen Nerven nach dem Auge hin hat. Fischer heilte durch das bloſse el. Ausströmen durch eine hölzerne Spitze den schwarzen Staar bei einer 43jährigen Frau innerhalb 4 Wochen [2].

b. *Taubheit.* Man läſst die E. durch den oben beschriebenen Zuleiter in den Gehörgang erst als unmerklichen Strom, dann als Hauch, endlich als Funken einwirken. SunTelin will in hartnäckiger Taubheit guten Erfolg wahrgenommen haben, wenn er einen abgerundeten Draht in den Mund so einbrachte, daſs sein abgerundetes Ende der Gegend, wo sich die Eustachische Röhre öffnet, gegenüber stand, diesen Draht mit dem äuſsern Belege einer kleinen, schwach geladenen Leidner Flasche verband, und nun mit einem andern in den Gehörgang gebrachten Drahte den Erschütterungskreis am Knopfe der Flasche schloſs.

4. *Krämpfe* und *Convulsionen.* Vorzüglich hat man im St. Veits-Tanze die E. heilsam befunden, selbst in Form von gelinden Schlägen, die man durch das Rückenmark gehen lieſs. Wilkinson will einen Trismus, der schon einen ganzen Monat gedauert hatte, durch E. geheilt haben. Suntelin fand in

---

1 G. XLVII. 108.

2 Phys. Wörterb. VIII. Bd. S. 363.

Krampfkrankheiten durch die starken Grade der E. die Krampfanfälle vielmehr entstehen.

5. *Chronischer Rheumatismus.* Vortrefflich durch einen allgemeinen Hautreiz, wenn man den mit einer Kugel versehenen, mit dem positiven Conductor verbundenen Director über den mit Flanell bedeckten, mit dem chronischen Rheumatismus behafteten, Theil hin und her führt. Nach Umständen sind auch schwache Erschütterungen durch den leidenden Theil geführt, wohlthätig. Im rheumatischen Zahnweh habe ich Funken aus dem Backen gezogen von schneller Hülfe beobachtet. Zur Betäubung der Nerven im Zahnweh von cariösen Zähnen, und zur Linderung ja gänzlichen Unterdrückung des Schmerzes, ist ein el. Schlag, durch den Zahn geleitet, oft von augenblicklicher Wirkung, zu welchem Behuf man die Zuleiter zur einen Belegung an den leidenden Zahn, den zur andern Belegung in den Nacken bringt.

6. *Chronische Augenentzündung*, besonders mit vermehrter Schleimabsonderung, nur durch den el. Hauch bisweilen mit Erfolg behandelt.

7. *Kalte Geschwülste.* Gegen skrophulöse Drüsenanschwellungen, rheumatische Auftreibungen, weifsen Kniegeschwulst, Milchversetzung, selbst Frostgeschwülste, hat man die E. in derselben Reihenfolge, wie in Nr. 1, mit Nutzen gebraucht. In den rothen Frostbeulen folgen gewöhnlich auf den Gebrauch der Funken weifse Flecken. In allen solchen Geschwülsten mufs aber aller entzündliche Zustand vorüber seyn.

8. *Amenorrhoe.* Die kräftige Wirkung der E. auf die Gefäfse und Muskelfasern der Gebärmutter ist durch vielfache Erfahrungen aufser Zweifel gesetzt. Schon der unmerkliche Strom bringt den Monatsflufs in Gang, wenn Schwäche und Atonie der Gebärmutter und ihrer Gefäfse seinem Ausbleiben zum Grunde liegt; noch wirksamer sind gelinde el. Schläge von dem Kreuzbeine in den Schoos oder nach den Schenkeln hingeführt, indem man auf das erstere den Zuleiter vom positiven an die letzteren denjenigen vom negativen Belege anbringt.

9. *Bandwurm.* Die Beschwerden und Schmerzen, welche vom Bandwurm herrühren, weichen augenblicklich, wenn man einige el. Erschütterungen quer durch den Unterleib führt. Dieser Eingeweidewurm scheint dadurch betäubt und gleichsam gelähmt zu werden, und kann in diesem Zustande durch ange-

messene, selbst gelindere, Purgirmittel, wie namentlich durch Ricinusöl, abgeführt werden.

10. *Scheintod.* Vorzüglich im Scheintode vom Ertrinken, auch von einem Blitzstrahle, hat man die E. in einzelnen Fällen von einem glücklichen Erfolge gekrönt gesehen. Hier sind gelinde el. Schläge durch die Gegend des Herzens und Zwergfells geleitet die passendste Form, denn sowohl die el. Ausströmung als die el. Funken möchten in den meisten Fällen zu schwach wirken. Doch muſs man mit den schwächsten el. Schlägen den Anfang machen, weil stärkere Schläge durch zu heftigen Reiz auch die letzte Spur von Reizempfänglichkeit vollends vertilgen könnten. Man setzt, um der el. Erschütterung die oben bemerkte Richtung zu geben, den positiven Zuleiter abwechselnd auf die eine oder andere Seite des Halses, und in den Nacken, und den negativen Zuleiter unter die linke Brustwarze, auch an die untere Seite des Brustbeins. Man muſs längere Zeit fortfahren, jedoch in dem Durchleiten aller Schläge von Zeit zu Zeit Pausen machen, auch die Anwendung anderer zweckmäſsiger Mittel, besonders des Lufteinblasens und der Wärme, damit verbinden. Ein schlimmes Zeichen ist es, wenn die el. Schläge, von denen man anfangs nichts empfand, wenn man die beiden Zuleitungsdrähte in seinen Händen hielt, allmälig fühlbar werden, weil man daran erkennt, daſs der Körper des Scheintodten die E. mehr und mehr unvollkommen leitet, was ein Beweis ist, daſs er, statt dem Leben sich mehr zu nähern, sich weiter davon entfernt[1]. *P.*

Elektricität, thierische S. **Galvanismus.**
Elektricitätssammler S. **Colector.**
Elektricitätsverdoppler S. **Duplicator.**

Elektricitätszeiger.

Index s. Gnomon electricitatis. Man hatte diesen Namen einigen Vorrichtungen beigelegt, deren sich die Beobachter der Gewitter-Elektricität bedienten, um das Daseyn derselben zu bemerken

---

1 Tib. Cavallo Versuch über die Theorie und Anwendung der medicinischen E. Aus dem Engl. übersetzt. Zweite vermehrte Auflage. Leipzig 1799. Jos. Franc. Domin Ars electricitatem aegris tuto adhibendi Pestini 1796. Karl Suntelin Anleitung zur medicinischen Anwendung der E. und des Galvanismus 8. Berlin 1822.

und ihre Stärke zu messen. Jetzt werden zu dergleichen Beobachtungen selten andere, als die gewöhnlichen atmosphärischen Elektrometer gebraucht[1]. Man könnte inzwischen den gröſsern und immer bleibenden Veranstaltungen hierzu den Namen *Elektricitätszeiger* lassen und die kleineren portativen Werkzeuge *Luftelektrometer* nennen. Man hat ihnen auch den Namen *Blitzmesser* beigelegt, der dem Unerfahrnen sehr sonderbar vorkommen muſs; auch den halb lateinischen und halb griechischen Namen *Fulgurometer*, wofür man schicklicher *Brontometer* sagen würde. Diese Namen scheinen mir aber unschicklich. Man miſst doch nicht den Blitz oder den Funken, sondern nur die Stärke der E.

Franklin[2] setzte, nachdem er die Gleichheit des Blitzes und der E. entdeckt hatte, zuerst eine isolirte eiserne Stange auf sein Haus, und befestigte an derselben zwei Glöckchen so, daſs sie ihm durch ihr Läuten die Elektrisirung der Stange andeuteten[3]. Am 12. April 1753 fand er dadurch zum ersten Male bei einem Gewitter die E. der Wolken negativ. Man kann auch die Veranstaltungen, durch welche Dalibard und Delor die Gleichheit des Blitzes mit der E. bestätigten[4], unter die Elektricitätszeiger rechnen. Diesen Beobachtern, so wie dem Abbé Mazeas, sammelte die einfache Stange noch nicht genug E., sie verbanden sie daher mit mehreren isolirten Metallstangen, und nannten die ganze Vorrichtung ein *Elektricitäts-Magazin* (magazin d'électricité). Canton bediente sich einer isolirten Stange, brachte aber am Ende derselben, wo sie auf der isolirenden Glassäule ruhte, einen zinnernen Deckel an, um den Regen vom Glase abzuhalten.

Richmann erfand sich eine eigene Veranstaltung[5] und legte ihr den Namen *Index s. Gnomon electricitatis* bei. Sein Schicksal und seine Verdienste sind es wohl werth, daſs man diesen Namen zu seinem Andenken in der Wissenschaft beibehalte. Er hatte am Dache seines Hauses einen Ziegel ausge-

---

1 Vergl. *Luftelektrometer*.

2 Briefe über die E. nach Wilke's Uebers. S. 146. f.

3 S. *Glockenspiel, elektrisches*.

4 S. *Blitz*.

5 De indice electricitatis, in Nov. Comm. Petrop. To. IV. ad ann. 1752 et 1753. p. 310. ingl. Winkler de avertendi fulminis artificio. Lips. 1753. 4.

hoben und auf die nebenliegenden Ziegel eine gläserne Flasche gesetzt, durche welche eine eingekittete eiserne Stange hindurch ging. Ihr oberes Ende ragte 4—5 Schuh über das Dach hervor. Am untern Ende hing eine Kette, welche, ohne Leiter zu berühren in ein Zimmer geführt war, in welchem sie noch 16 Schritt weit an der Decke bis an die Fenster fortlief, wo von ihr ein Metalldraht herab hing. Dieser war mit einer kleinen Metallstange verbunden, welche in einem mit Kupferfeile gefüllten Glase auf einem 4 F. hohen Schranke stand. An der Metallstange hing vom obern Ende herab ein leinener Faden, der, wenn sich E. zeigte, von der Stange abgestofsen ward. Ein nebenstehender getheilter Quadrant gab den Winkel des abgestofsenen Fadens mit der Stange an. Die Gewitterelektricität hob diesen Faden nie über 30°, die künstliche aber über 55°. Am 9. August 1752 war die E. so stark, dafs der obere Theil der Metallstange freiwillig mit Geräusch ausströmte, und die Berührung derselben Hand und Arm erschütterte. Bisweilen setzte Richmann eine isolirte leidner Flasche daneben, deren innere Seite mit dem herabhängenden Drahte verbunden ward, und fand dadurch die E. noch mehr verstärkt. Am 6. Aug. 1753 tödtete ihn bei dieser Veranstaltung der unglückliche Schlag, dessen Wirkungen bei dem Worte: *Blitz*, angeführt worden sind.

Um nun den Beobachter für ähnliche Gefahren zu sichern, gab Winkler [1] eine andere Vorrichtung an, bei der man Funken, welche die Gewitterelektricität zwischen zwei Körpern schlägt, aus der Ferne beobachten kann. Sie gehört ebenfalls zu den *Elektricitätszeigern*, giebt aber die Funken alsdann erst, wenn die E. stark genug wird, um in der Schlagweite, auf welche die Körper gestellt sind, zu wirken, und dient also nicht zu Abmessung schwächerer oder stärkerer Grade.

Priestley [2] schlägt zur Beobachtung der Luftelektricität folgende Einrichtung vor. Man errichte auf dem Gipfel eines Gebäudes eine Stange, welche oben ein dickes Stück Glas, etwa einen Schuh lang, hat, das mit einem zinnernen Trichter bedeckt wird, um den Regen davon abzuhalten. Ueber demselben lasse man eine hohe zugespitzte eiserne Ruthe her-

---

1 De fulminis avert. artificio. Lips. 1753. 4.

2 Gesch. der E. durch Krünitz S. 344.

vorragen, von dem Trichter aber einen Draht an dem Gebäude herabgehen, der von der Stange und den Theilen des Gebäudes etwa einen Schuh weit entfernt bleibt. Diesen führe man, ohne daſs er Leiter berührt, durch ein Fenster ins Zimmer und verbinde ihn mit einem isolirten Conductor, an welchem man die E. durch die gewöhnlichen Erscheinungen wahrnehmen, auch ihre Stärke und Beschaffenheit mit Elektrometern untersuchen kann. Zur nöthigen Sicherheit räth Preistley an, neben dem Drahte einen gewöhnlichen Blitzableiter herabgehen zu lassen.

Le Roy [1] beschreibt unter dem Namen des *Fulgurometers* folgende Veranstaltung. Er errichtet eine hohe hölzerne Stange an einem so viel möglich, von Häusern, Bäumen etc. entfernten Orte, kittet darauf eine gläserne Flasche und auf diese einen blechernen Trichter in Gestalt eines 4 F. langen Sprachrohrs, dessen unterer Rand auf allen Seiten einen Schuh weit über die Flasche hinaus geht. Auf das obere enge Ende des Trichters wird eine 4—5 F. lange zugespitzte eiserne Stange aufgekittet, und von der Spitze aus ein Draht weit durch die Luft bis ins Zimmer des Beobachters geleitet, in dessen Fenster die Oeffnung weit seyn muſs; doch müssen die Fenster zugehalten werden, um keine Feuchtigkeit ins Zimmer zu lassen. Zur nöthigen Beschützung geht von dem Trichter noch eine Ableitungskette gerade herunter, bis auf einen F. weit von der Erde; unter diese Kette wird eine Metallstange tief in die Erde eingelassen, und hat oben eine leichte blechene Platte mit einem Charniere. Wenn die E. zu stark wird, soll nämlich das Ende der Kette (an das man hierzu wohl eine Kugel, oder noch eine Platte anbringen möchte) die Platte anziehen und sich dadurch in die Erde ausladen. Im Zimmer steht ein hölzernes Kästchen, dessen eine Wand eine Glasscheibe ist, wodurch der Draht geführt wird. Sie ist inwendig mit schwarzem Taffent überzogen, damit das Innere des Kästchens dunkel bleibe. An einer Seitenwand ist ein Glasfensterchen, um hineinzusehen. Im Kätschen liegen auf zwei Glasfüſsen zwei kleine zugespitzte Metallstangen mit metallenen Scheiben so, daſs sich immer die Spitze der einen Stange gegen die Scheibe der andern kehrt. Man muſs sie näher oder weiter von einander stellen können.

---

1 Rozier. Observ, et mém. sur la physique To. III. Janv. 1774.

An die eine Stange wird der Draht des Blitzmessers, an die andere ein anderer Draht angebracht, der in den Boden des Zimmers herabgeht. Wenn nun die E. der Atmosphäre positiv ist, so wird die mit ihr verbundene Spitze gegen die mit der Erde verbundene Scheibe einen Feuerbüschel, und die andere einen leuchtenden Punct zeigen; ist sie negativ, so werden die Erscheinungen die umgekehrten seyn. Ich zweifle, daſs diese sehr zusammengesetzte Einrichtung Beifall finden werde, zumal da die Phänomene des el. Lichtes nie ein bestimmtes Maſs gewähren. Man kann aber das ganze Kästchen weglassen und die E. mit dem Elektrometer untersuchen.

Eine andere hierher gehörige ziemlich weitläuftige Veranstaltung finde ich von Donndorf[1] beschrieben. Es wird ein Haus von Brettern leicht erbaut; mitten durch dessen Dach geht eine 20 F. hohe Stange, oben mit Spitzen versehen, unten auf Pech isolirt. Am Dache halten sie viele seidne Schnüre, damit sie nicht schwanke. Einige Fuſs über dem Dache sitzt an ihr eine groſse kupferne Haube, die den Regen auffängt, und durch eine Rinne in ein isolirtes Gefäſs führt. Inwendig ist die Stange mit der innern Seite einiger Verstärkungsflaschen, und mit einer Metallplatte verbunden, die an seidenen Schnüren aufgezogen und niedergelassen wird. Die äuſsern Seiten der Flaschen sind mit einem unter dieser Metallplatte stehenden Stative verbunden. So laden sich die Flaschen durch die Gewitterwolke, und entladen sich, wenn man die Metallplatte nahe genug ans Stativ herabläſst. Die Beobachter können an einem entfernten sichern Orte stehen, an welchen die seidnen Schnüre zum Aufziehen der Metallplatte hingeführt werden. Aus der Schlagweite zwischen dieser Platte und dem Stative kann man auf die Stärke der E. schlieſsen.

Der Abt Hemmer[2] hatte in dem churfürstlichen physikalischen Cabinette zu Manheim einen Elektricitätszeiger angelegt, dessen Wirkungen nach seiner Versicherung vortrefflich waren und dem er den sonderbaren Namen eines *Blitzfängers* oder *Wolkenelektricitätsmessers* beilegte. A ist eine 30 Schuh

Fig. 38.

---

1 Lehre von der E. II. Bd. S. 491; Erfurt 1784. 8.

2 Ephemerides Societ. meteorol. Palat. To. I. p. 85—87 ingl. Anleitung, Wetterleiter an allen Gattungen von Gebäuden auf die sicherste Art anzulegen. Offenbach am Mayn 1786. 8. S. 26.

lange, in eine kupferne Spitze auslaufende eiserne Stange, die auf einer starken mit einem metallenen Hute zur Abhaltung des Regens gedeckten Glassäule stand. BCDE ist eine mit dieser Stange verbundene 0,5 Zoll dicke metallene Ruthe, die auswendig am Schlofse herunter, und durch einen Fensterrahmen bis ins Cabinet ging, wo sie an die eiserne Querstange V M befestigt war. Diese Querstange war an beiden Enden mit Kugeln versehen. An dem einen Ende hingen zwei Fäden mit Hollundermarkkügelchen R, in der Mitte ein el. Glockenspiel F. Am andern Ende der Stange, V M gegenüber, ein metallener Leiter S mit der Erde verbunden. Die ganze übrige Geräthschaft war isolirt; nur die erforderlichen Theile des Glokkenspiels konnten, wenn man es haben wollte, mit der Erde verbunden werden.

Diese Geräthschaft zeigte folgende Erscheinungen: 1. Zog eine Wetterwolke, sie mochte blitzen oder nicht, so vorüber, dafs ihr Wirkungskreis die Spitze A berührte, welches oft in großer Entfernung geschah, so gingen die Fäden R aus einander, und war die E. der Wolke etwas stark, so zeigten sich Funken zwischen den Kugeln V, S, und das Glockenspiel läutete. 2. Bisweilen, wiewohl selten, zog ein Gewitter, auch mit Blitz und Donner, über die Geräthschaft hinweg, ohne dafs diese ein Merkmal der E. zeigte. In diesem Falle mufste die Wolke so hoch gehen, dafs die Spitze A ihren Wirkungskreis nicht erreichte. 3. Die E. der Geräthschaft war bald positiv, bald negativ. 4. Diese Verschiedenheit und Abwechselung der E. hatte nicht nur bei verschiedenen Gewittern, sondern oft auch bei einem und demselben Gewitter, ja sogar auch dann statt, wenn man von diesem nicht mehr als eine einzige zusammenhängende Wolke entdeckte. Hemmer fand einst die Art der E. in einer Viertelstunde achtmal verändert. 5. So oft die E. wechselte, fielen die Kügelchen R zusammen, gingen aber oft augenblicklich, oft etwas langsamer, zu ihrer vorigen Stellung zurück. So lange sie beisammen blieben, zeigte die Geräthschaft nicht die mindeste E. Oft war der Uebergang von einer E. zur andern so schnell, dafs die Kügelchen kaum ganz zusammen fielen, sondern schon vor der Berührung einander wieder zu fliehen schienen. Wenn sie aber zusammenfielen, so folgte auch nicht immer eine andere E., sondern oft kam dieselbe wieder zurück. 6. Bisweilen hielt die E. dersel-

ben Art nur einige Minuten, bisweilen auf eine halbe Stunde und drüber an. 7. So oft es bei einem nahen Gewitter blitzte, veränderte sich in dem Augenblicke der Abstand der Kügelchen. Bisweilen zeigte sich auch in eben dem Augenblicke ein Funken zwischen den Kugeln V, S, obschon kurz vorher nur eine schwache oder gar keine E. in der Geräthschaft gewesen war. 8. Fiel ein Gewitterregen auf den Apparat, so empfing derselbe augenblicklich eine starke E., wenn er vorher keine hatte, oder seine vorige ward merklich verstärkt. Während desselben Regens wechselte die E. der Geräthschaft ebenfalls oft ab. 9. Wenn die Funken zwischen den Kugeln V, S, mit großser Gewalt und Geschwindigkeit schlugen, so daſs sie dazwischen gehaltene Körper beschädigten, und man dann diese Kugeln bis zur Berührung zusammenbrachte, so war in dem Augenblicke keine Spur von E. mehr in der Geräthschaft zu finden. Schob man die Kugeln wieder von einander, so fingen die vorigen Funken sogleich wieder an.

Hemmer zieht aus diesen Erscheinungen einige Folgerungen, die wir hier noch mittheilen wollen [1]. Die Spitze A, sagt er, könne die E. nicht unmittelbar aus den Wolken, sondern nur aus ihren Wirkungskreisen ziehen. Sie erreiche ja die Wolke selbst nicht, die oft in einer übermäſsigen Entfernung über ihr vorbeiziehe. Es gäbe aber in dem Wirkungskreise einer Wolke immer abwechselnde positive und negative, gleichsam concentrisch die Wolke umringende, Luftschichten, und so zeige der Apparat positive oder negative E.; je nachdem die Spitze in eine Schicht von dieser oder jener Art eingesenkt sey. Es sey daher auch nicht nöthig, negative Wolken anzunehmen, indem sich die negative E. der Geräthschaft hinlänglich aus den negativen Wirkungskreisen erklären lasse. Ohne diese abwechselnden Schichten der Wirkungskreise wäre es auch nicht möglich, von den vielfältigen Abwechslungen der E. in der Geräthschaft einen hinlänglichen Grund anzugeben, oder das Zusammenfallen der Kügelchen zu erklären, welches sich zeigt, wenn die Spitze an die Grenze zwischen zwei Schichten kommt, deren eine positiv, die andere negativ ist. Die oft so lange anhaltende E. der Geräthschaft komme aus den entferntern Schichten des Wirkungskreises der Wolke; also

1 Vergl. *Luftelektricität.*

werde der Letzteren selbst dadurch nichts von ihrer E. entzogen. Der Blitz aber verursache eine Entladung der Wolke selbst welche auf alle Schichten des Wirkungskreises zugleich, mithin auch auf die Geräthschaft wirke. Die Analogie eines Nichtleiters, wie z. B. einer Glasstange, noch mehr einer Siegellackstange, welche in dem Wirkungskreise eines elektrisirten Körpers abwechselnde Zonen von entgegengesetzter E. bis auf eine gewisse Strecke annimmt, scheint für diese Erklärung zu sprechen, doch giebt es unstreitig auch noch andere Umstände, welche eine negative E. in den Wolken selbst, und eine Verwandlung derselben in positive veranlassen können. Bequemer als durch diese kostspieligen und selbst nicht immer gefahrlosen Vorrichtungen erreicht man indessen seinen Zweck, die E. der Luft und der Wolken auszumitteln durch den el. *Drachen* und die portativen *Luftelektrometer*, von welchen in besondern Artikeln gehandelt wird. *P.*

Elektrisirmaschine.

Elektrische Maschine; *Machina electrica*; Machine électrique; *Electric Machine.*

Ein Apparat um die ursprüngliche E. eines für sich el. Körpers durch Reiben stark und anhaltend zu erregen, und andern Körpern mitzutheilen.

Die grofse Masse von Thatsachen, welche sich auf diesen Gegenstand beziehen, wird sich am leichtesten zur Uebersicht ordnen lassen, wenn wir, nach vorangeschickter kurzer historischer Notiz von den unvollkommenern früheren Einrichtungen, unter den zwei Hauptrubriken der *Cylinder-* und *Scheiben-Maschinen* ausführlicher von den Bemühungen der neueren Physiker zur möglichst vollkommenen Einrichtung dieses eben so sehr zur Belehrung als Ergötzung dienenden Werkzeugs handeln, und in der Beschreibung einiger Mustermaschinen von jeder der beiden Hauptclassen die Grundsätze entwickeln, auf welchen die Vorzüge ihrer Einrichtung beruhen. In einer besondern Rubrik wird dann noch von andern Arten von Elektrisirmaschinen Rechenschaft gegeben, und am Ende noch von dem Gebrauche und den Hauptversuchen, welche man mit diesem Apparate anstellen kann, gehandelt werden, wobei durch Angabe dessen, was verschiedene Elektrisirmaschinen wirklich

geleistet haben, die Vorzüge der einen Einrichtung vor der andern sich noch weiter ergeben werden.

Man kann den Ursprung der Elektrisirmaschinen, wenn man weit zurückgehen will, von Otto von Guericke herleiten, der eine Schwefelkugel auf einem hölzernen Gestelle mit einer Kurbel umdrehte, und mit der andern Hand rieb[1]. Hawksbee[2] verfuhr eben so mit einer Glaskugel, nur brachte er statt der Kurbel ein Rad an, das er durch eine Schnur ohne Ende mit einem an der Axe der Kugel befindlichen Würtel verband, und mit einer Kurbel umdrehte. Dem ungeachtet bedienten sich Gray und du Fay noch bloſs der Glasröhren, welche entweder mit der bloſsen Hand, oder durch ein an dieselbe gehaltenes Reibzeug el. wurden, wodurch wegen Ermüdung der Hand, und der Unmöglichkeit einen ersten Leiter anzubringen, nie starke Grade von E. erhalten wurden. Das Verdienst, die Elektrisirmaschinen in die Experimentalgeräthschaften eingeführt zu haben, gehört den *deutschen Gelehrten*, und unter diesen vornehmlich Hausen[3]. Dieser wurde auf das Umdrehen der Glaskugel mit Hülfe eines Rades nicht durch Hawksbee's Beispiel, sondern, nach einer Note in der ersten Ausgabe dieses Wörterbuches, durch den Gedanken eines seiner Zuhörer geleitet. Dieser war Litzendorf, Führer des Grafen Julius Gebhard von Hoym, mit dem er bei Hausen die damals noch sehr neuen el. Versuche sah. Die beständige Unterbrechung des Reibens der Röhren mit der Hand brachte ihn auf den erwähnten Gedanken, den sein Lehrer mit Vergnügen annahm und ausführte. Durch Bose's und Winkler's merkwürdige Versuche wurden diase Maschinen allgemeiner bekannt nnd mit Beifall aufgenommen. Der Pater Gordon in Erfurt lieſs zwar das Rad weg, und drehte einen Glascylinder am Würtel durch eine Schnur, die über einen Bogen gespannt war, nach welcher Methode auch Winkler[4] eine Maschine verfertigen lieſs, bei welcher der Würtel an der Axe des Cylinders, wie bei den Drechselbänken vermittelst einer Schnur an einer

---

1 S. Exper. nova de vacuo spatio. Amsterd. 1672. fol. pag. 240.

2 Physico-mechanical experiments. London 1709. 4.

3 Hausen novi profectus in historia electricitatis. Lips. 1743. 4

4 Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der E. Leipzig 1744. 8. S. 12.

Wippe durch Treten mit dem Fuſse bewegt wurde. Ein gewöhnliches Bierglas war der geriebene Körper. Winkler kam aber bald zu der Hausen'schen Einrichtung zurück, die er[1] so beschreibt, wie er sie selbst zu gröſseren Versuchen gebraucht hat, daſs nämlich mit einem einzigen Rade vier Kugeln zugleich gedreht, und durch das Anhalten der Hände zweier Personen gerieben wurden.

Fig. 39.

Diese Winkler'schen Maschinen sind darum vorzüglich merkwürdig, weil bei denselben zum erstenmal Kissen als *Reibzeug* angebracht worden sind. Man hat also die nützliche Erfindung der Kissen dem Leipziger Drechsler Giessing zu danken, der nach Winkler's eigener Versicherung[2] seine erste Maschine angegeben hat. Das Kissen machte eine Person, welche sonst die Hand anlegen muſste, entbehrlich, allein noch war es unvollkommen. Es war unter dem Glas-Cylinder angebracht, und lieſs sich zwar durch eine Stellschraube höher oder niedriger stellen, gab aber doch den Ungleichheiten der Rundung des Cylinders zu wenig nach, und erwärmte das Glas zu sehr, daher auch Winkler selbst wieder davon abging. Zuletzt kam er jedoch aus Mangel an Personen, deren Hände zur Erregung der E. geschickt waren, wieder auf den Gebrauch der Kissen zurück, und versah dieselben mit Federn, welche sie gelinde an die Kugeln oder Cylinder, die Winkler ohne Unterschied gebrauchte, andrückten.

Sigaud de la Fond[3] versichert, daſs er im Jahr 1754 ebenfalls auf den Gedanken gekommen sey, die Kissen seiner Maschine mit Federn zu versehen. Der Abt Nollet[4] gab seiner Maschine die nämliche Einrichtung, welche bereits die deutschen Gelehrten erfunden hatten, indem er seine Glaskugel durch ein groſses Schwungrad, das durch ein Seil ohne Ende mit dem Würtel an der Glaskugel verbunden war, in eine sehr schnelle Bewegung versetzte. Er erklärte sich aber wider den Gebrauch der Kissen, und lieſs stets eine Person die Hand an die Kugel legen. Seine eigene Hand war dazu sehr geschickt,

---

1 Eigenschaften der el. Materie Leipz. 1745. 8.

2 a. a. O. S. 13.

3 Précis historique et experimental des phénomènes électriques. Paris. 1781. 8.

4 Essai sur l'électricité des corps. Paris 1746. p. 48. ff.

und brachte stets eine starke E. hervor. Den ersten Leiter hing er mit seidenen Schnüren an die Decke auf, und verband ihn mit der Kugel durch eine Kette. Dr. WILLIAM WATSON[1] legte ebenfalls die Einrichtung der deutschen Gelehrten, mit denen er in Briefwechsel stand, zum Grunde, liefs aber durch sein Rad vier über einander stehende Glaskugeln auf einmal drehen, die sich an vier Kissen rieben. PRIESTLEY[2] hat diese Maschine abgebildet. Zu ihrer Erfindung gab die Begierde *Bose's Beatification*[3] nachzumachen, Anlafs, von welcher man sich in England allzugrofse Vorstellungen machte, und daher bemüht war, sehr starke Elektricitäten hervorzubringen. WILSON gab bald nachher eine Maschine an, welche weniger Raum erfordert. Ein Glascylinder wird durch ein daneben stehendes Rad gedreht, und reibt sich an einem unten angebrachten Kissen. Der erste Leiter ruht auf seidenen Schnüren, die an vier hölzernen Säulen auf das Gestell der Maschine selbst gebunden sind. An dieser Maschine[4] findet man zum erstenmale den *Leiter* mit dem Cylinder durch einen *Zuleiter* oder *Collector*, d. i. durch einen Kamm mit metallenen Spitzen, verbunden. WINKLER hatte sich, um die E. von den geriebenen Körpern nach dem Leiter zu bringen, silberner Fäden bedient, die am Ende des Conductors hingen, und den geriebenen Körper unmittelbar berührten[5].

Um Kugeln von grofsen Durchmessern in ziemlich kleinen Gestellen sehr schnell bewegen zu können, versahen sie die englischen Künstler mit Zahn und Getriebe, welches sie in ein messingenes Gehäuse einschlossen. Ein mit der Kurbel umgedrehetes Stirnrad greift in ein Getriebe, das an der Axe der Kugel fest ist. MUSSCHENBROEK lobt diese Maschinen sehr, sie verursachen aber, wenn sie nicht sehr fein und genau ausgearbeitet sind, ein unangenehmes Gerassel. Man kann dabei die Axe der Kugel oder des Cylinders vertical stellen, oder horizontal legen. BRIGNOLI[6] kam gar auf den Gedanken, die Axe mit der Weltaxe parallel zu legen; allein die Lage der

1 Exper. and observ. on electricity Lond. 1745.

2 Geschichte der E. Taf. V. Fig. 1.

3 S. *Spitzen*.

4 Priestley's Geschichte der E. Taf. VI. Fig. 1.

5 Die Eigenschaften der el. Materie u. s. w. S. 37.

6 Hamb. Magazin Bd. III. S. 565.

Axe thut an und für sich nichts zur Sache. Eine solche mit Zahn und Getriebe versehene Maschine mit verticaler Axe von Nairne beschreibt Priestley[1]. Der Leiter ruht auf seidenen Schnüren, die an vier aus dem Gestelle hervorragenden Armen befestigt sind. Das Kissen wird an die Kugel durch eine federnde Stange angedrückt, an der es fest ist, und die auf dem Gehäuse des Räderwerks aufsteht. Diese Maschine ist tragbar und läfst sich auf einen Tisch aufschrauben. Eine andere, gleichfalls von englischen Künstlern ausgeführte Cylinder-Maschine zeichnete sich durch ihren Sammler aus, der aus einem Drahte von vergoldetem Kupferblech, vorne breit geschlagen, besteht, und vermöge seiner E. sich unmittelbar an den Cylinder anlegt. Read gab seinem Cylinder eine senkrechte Stellung. Die Axe hatte unten einen Würtel, und wurde durch eine hölzerne, dem Tische parallel liegende Scheibe, vermittelst einer Schnur ohne Ende gedreht. Dieses Umdrehen der horizontalen Scheibe erfordert aber eine unbequeme Bewegung der Hand[2]. Ich übergehe noch einige andere Maschinen, namentlich zwei von Priestley selbst angegebene Glaskugel-Maschinen, da sie nichts ausgezeichnetes haben, und will die sonstigen wesentlichen Verbesserungen, die ein historisches Interesse haben, bei den beiden Arten von Elektrisirmaschinen, die mit Recht jetzt allein noch in Gebrauch sind, nämlich den Cylinder-Maschinen und Scheiben-Maschinen an dem dazu schicklichen Orte bemerken.

I. Elektrisirmaschine von Glas.

A. Cylinder-Maschine.

Die drei wesentlichen Stücke einer jeden Elektrisirmaschine sind 1. der *idioelektrische Körper*, durch dessen Reibung die ursprüngliche E. erregt werden soll. 2. *das Reibzeug* mit seinem Conductor, 3. der *erste Leiter*, der durch Wechselwirkung mit dem geriebenen Körper in einen demselben gleichartigen el. Zustand versetzt werden soll 4. der mit dem ersten Leiter verbundene mehr ausgedehnte *zweite Leiter*, durch dessen Beihülfe die E. noch beträchtlich verstärkt werden kann.

1 Gesch. der E. Taf. V. Fig. 1.

2 Die Abbildung derselben findet sich gleichfalls in Priestley's Geschichte der E. Tab. VIII.

Bei der Cylinder-Maschine besteht der idioelektrische Körper aus einem Glascylinder. Diese Art von Maschinen ist vorzüglich in England im Gebrauch, und um ihre möglichst vollkommene Einrichtung haben sich besonders NAIRNE, ADAMS und NICHOLSON Verdienste erworben. Die Cylinder haben mit Recht die Kugeln verdrängt, da sich an letztere das Reibzeug nie so gut anlegt, auch eine verhältnifsmäfsig viel gröfsere Fläche bei den Cylindern als bei den Kugeln zugleich gerieben werden kann. Die Cylinder, welche zu den Maschinen gewöhnlich gebraucht werden, wechseln von der Gröfse von 4″ Durchmesser und 8″ Länge bis 12″ Durchmesser und zwei Fufs Länge, doch hat man auch in London Maschinen von 24″ Durchmesser des Cylinders verfertigt. Die besten englischen Cylinder sind von Flintglas, das im Ganzen sehr el. ist. Cylinder von weifsem, recht durchsichtigem, hellem, reinem Glase sind nach mehrfachen Erfahrungen[1] allen andern vorzuziehen. Weifses Glas, welches milchicht aussieht, leistet schlechte Dienste. Cylinder von blauem Glase sind nur dann wirksam, wenn die Grundmasse, aus welcher sie bestehen, von weifsem Glase ist, durch Zusatz von etwas Kobaltoxyd blau gefärbt. Dafs das blaue Glas an und für sich keine Vorzüge habe, erfuhr ich selbst zu meinem Schaden an einem sehr grofsen blauen Glascylinder aus einer westphälischen Glashütte, der wenig leistete. Dasselbe gilt vom grünen Glase. Hartes Glas, in welchem der Gehalt an Kieselerde überwiegend, und weniger Laugensalz ist, hat in jedem Falle Vorzüge vor weicherem Glase. Ueberhaupt müssen die Glascylinder recht glatt gearbeitet, ohne Sandkörner und Blasen seyn. An Blasen, wenn sie oberflächlich liegen, und also nur mit einer dünnen Glasdecke versehen sind, reibt sich das Glas nach und nach ab, und es entsteht eine Vertiefung in welcher sich das Amalgama anhängt, welches die Entladung des Conductors nach dem Reibzeuge begünstigt, auch wird der Taffent allmälig zerrissen. Hat man sich einen Cylinder erst zu wählen, so kann man ihn auch auf sein el. Vermögen durch Reiben mit einem mit Amalgama eingeriebenen Stücke Taffent vorher prüfen, wo er schon aus der Ferne leichte Körperchen anziehen mufs.

1 Vergl. auch: Praktische und gründliche Anleitung, auf eine leichte und wohlfeile Art gute Elektrisirmaschinen zu bauen, von HOFFMANN. Leipz. 1795. 8.

Manche Cylinder (und auch Glaskugeln) welche keine gute Wirkung leisten, werden durch einen inneren *Ueberzug* von harziger Materie wesentlich verbessert, ohne Zweifel, weil dadurch die Feuchtigkeit abgehalten wird, womit sie sonst leicht im Innern beschlagen, welche Feuchtigkeit nach Art der Belegung einer Flasche, die durch Reiben auf der äußseren Oberfläche erregte E. bindet. Eine gute Composition zu einem solchen Ueberzuge besteht aus 4 Theilen venetianischem Terpentin, einem Theile Wachs, und einem Theile Pech, welches Gemisch eine Zeitlang über einem gelinden Feuer unter häufigem Umrühren erwärmt wird, um alle Feuchtigkeit daraus zu verjagen. Von der erkalteten und erhärteten Masse wirft man eine genugsame Menge in kleinen Stücken in den Cylinder, hält diesen darauf ans Feuer, läfst die Mischung schmelzen, und sich gleichförmig über die innere Fläche des Glases etwa in der Dicke einer Viertellinie verbreiten. Die nöthige Vorsicht bei der Erwärmung des Glases, besonders durch beständiges Umdrehen desselben, versteht sich von selbst. Statt dieser Masse kann man sich auch mit grofsem Nutzen des Bernsteinfirnisses bedienen, den man, wenn man dem Cylinder eine rothe Farbe geben will, mit etwas Zinnober durch das sorgfältigste Zusammenreiben zu einer ganz gleichförmigen, nicht mehr griesigen, Masse vermischt, mit etwas Kienöl verdünnt in den Cylinder hineingiefst, und durch fleifsiges Umdrehen desselben über die ganze Fläche sich verbreiten läfst, wobei das Umdrehen über einem gelinden Kohlenfeuer geschehen mufs, welches man so lange fortsetzt, bis die Masse nicht mehr läuft, sondern sich anlegt. Bei Cylindern, die schon an sich sehr wirksam sind, ist dieser innere Harzüberzug entbehrlich. Auch das blofse längere Aussetzen an die Luft und Sonne macht bisweilen Glascylinder, die anfangs sehr unwirksam waren, stärker el. Da wo das Glas gerieben wird, mufs es verhältnifsmäfsig am dünnsten seyn, weil dann die E. vollkommener entwickelt zu werden scheint, doch mufs es bei gleichförmiger Dünnheit, nach dem Halse zu an Dicke allmälig zunehmen, und daselbst sehr stark seyn. Es hat sich öfters zugetragen, dafs grofse Cylinder und auch Kugeln während des Drehens mit grofser Gewalt, und mit augenscheinlicher Gefahr der Umstehenden in unzählige Stücke zersprungen sind. Man sucht die Ursache dieses Zufalls darin, dafs solche Cylinder oder Kugeln nach dem Blasen zu

plötzlich erkalteten. Da die im Cylinder eingeschlossene Luft möglicher Weise durch ihre Erhitzung oder die Zurückstofsung ihrer Theilchen durch die im Innern nach dem Gesetze der Vertheilung frei werdende E. daran Antheil haben könnte, so muss man in die Fassung auf der einen Seite ein Loch machen, damit die Luft frei ausweichen könne. Zur gehörigen Fassung sind die Cylinder an beiden Seiten mit einem Halse versehen. Nicht selten werden diese Halsstücke, oder wenigstens eins derselben an der verschlossenen Seite des Cylinders, die dem Orte, wo hineingeblasen wird, gegenübersteht, erst nach dem Erkalten des Cylinders angeschmelzt, wo es denn nicht selten geschieht, dafs sie losgehen. Diese Hälse werden in Büchsen oder Kappen eingekittet, die man entweder von Messing oder noch besser von einem recht gut ausgetrockneten, in Oel getränkten harten Holze verfertigt. Eine gute Art Kitt wird aus zwei Theilen Pech, zwei Theilen Wachs und einem Theile rothen Ocker verfertigt, die über einem gelinden Feuer unter fleifsigem Umrühren zusammengeschmelzt werden. Blofses Pech würde zu brüchig seyn. Einen noch stärker bindenden und gleichfalls vollkommen isolirenden Kitt verfertigt man aus 3 Theilen gelbem Pech und einem Theile Gummilack in Tafeln, das mit fein geriebenem und von allen Sandkörnchen freiem Ziegelmehl vermischt und zu einer Masse zusammengeschmelzt wird; die man, ehe sie erhärtet, in Stangen formt. Damit der gefafste Cylinder concentrisch laufe, legt man ihn vor dem völligen Erkalten des Kittes in sein Gestell, dreht ihn langsam um, und pafst ihn so auf, dafs er sich in derjenigen Lage befindet, bei welcher in seinem Laufe die meiste Gleichheit und Rundung statt findet. Da aber nur eine Fassung auf einmal angekittet werden kann, so macht man die andere Fassung vorläufig nur mit Zwirnsfäden, die man um den Hals des Cylinders gewickelt hat, fest, dann kittet man die zweite Fassung eben so ein, wobei man vorzüglich darauf zu merken hat, dafs der Lauf des Cylinders so gleichförmig als möglich geschieht und derselbe in seiner Bewegung sich nicht wirft. Sollte der Fall seyn, der sich oft zuträgt, dafs die Zapfen weit aus dem Mittelpuncte stehen, so mufs man die Fassung auf einer Seite etwas ausstechen, und auf der andern Seite etwas Pappe oder Kartenblatt beim Einkitten einlegen, um so die Axen der Kappen in den Mittelpunct zu bringen. Beide Fassungen, so wie ein Theil der bei-

den Seiten des Cylinders bis an die Enden des Reibzeugs werden dann recht gut lackirt. Beide Kappen sind mit hinlänglich, wenigstens einen halben Zoll dicken stählernen Spindeln versehen, die in dieselben vorher hineingetrieben worden sind und an ihrem innern schraubenförmig eingeschnittenen Ende durch Schraubenmuttern noch mehr befestigt werden, mit denen der Cylinder in seinem Gestelle ruht. Ehemals liefs man die Axe durch den Cylinder durchgehen, was aber schädlich ist, da das Eisen die an der äufsern Oberfläche durch Reiben erzeugte E. bindet, und dadurch ihre Wirkung auf den ersten Leiter schwächt. Findet bei aller getroffenen Vorsicht im Erkalten doch noch eine ungleichförmige Bewegung, ein Werfen des Cylinders statt, so wird dem davon abhängenden Nachtheile nur durch eine recht zweckmäfsige Einrichtung des Reibkissens, das durch eine starke Feder angedrückt der Bewegung nachgiebt, abgeholfen.

Muncke[1] erinnert gegen diese gewöhnliche Art der Fassung, dafs das Ueberziehen der inneren Seite der Cylinder mit Harzmasse wegen der Erhitzung leicht gefährlich ist, in die Oeffnung der Fassung feuchte Luft dringt und selbst fester Kitt in sehr heifsen Sommern erweicht, so dafs die schweren Cylinder herabsinken und excentrisch werden. Diesen Uebeln begegnete derselbe durch folgende Art der Fassung. Der an einem oder beiden Enden offene Cylinder wird an einem warmen Stubenofen bei sehr trockner Luft allmälig möglichst und anhaltend erwärmt, und mit hineingebrachten heifsen Handtüchern mehrmals ausgeschwenkt, um durchaus recht trocken zu seyn. Dann wird über die Oeffnung der Zapfen ein geeignetes seidenes Läppchen ausgebreitet, und ein pafslicher Kork so in die Oeffnung hineingedrückt, dafs ihn das seidene Läppchen überall umgiebt. Was vom Korke übersteht, wird abgeschnitten, und der Zapfen mit erweichtem Siegellack oder Elektrophormasse hermetisch verschlossen, wodurch aller Feuchtigkeit der Zutritt in das Innere der mit etwas erwärmter Luft erfüllten Cylinder abgeschnitten ist. Demnächst werden ausgehöhlte Korkstücke auf die Zapfen gepafst, und mit Hausenblasen oder Schreinerleim festgeleimt, deren genaues Anschliefsen an die Wandungen des Glases da, wo die Zapfen angesetzt sind, durch hineingeleimte

1 Aus brieflicher Mittheilung.

Keile oder Stücke von Kork bewerkstelligt werden kann. Diese Korkstücke werden dann mit einer Raspel sorgfältig so geformt, daſs nach gleichfalls aufgeleimten hölzernen Kappen mit den eisernen Zapfen der Cylinder möglichst concentrisch umläuft, wobei man zu stark weggenommene Stellen des Korkes durch aufgeleimte Stücke Leinwand wieder erhöhen kann.

Das Gestell, auf welchem der Cylinder aufruht, muſs hinlänglich stark und zugleich breit genug seyn, daſs sowohl das Reibzeug mit seinem Conductor, als auch der erste Leiter Platz darauf finden, und sich noch auf jeder Seite wenigstens einen Zoll verschieben lassen. Gewöhnlich wird dieses Gestell aus zwei starken senkrechten breiten Pfeilern, die hinlänglich fest in das Bodenbrett vernietet sind, verfertigt, wozu man sehr wohl ausgetrocknetes, in Oel gekochtes, Holz nehmen muſs, die man überdieſs noch mit Bernsteinfirniſs wohl überzieht. Die stählernen Spindeln des Cylinders laufen zur Verminderung der Reibung in Lagern von Messing. Vor einem solchen Gestelle hat indeſs eines von zwei starken Glassäulen, nach Art desjenigen, welches die Abbildung meiner Scheiben-Maschine[1] darstellt, unstreitige Vorzüge wegen der vollkommenern Isolirung, da die Axe leicht zur Ableitung der E. Veranlassung geben kann. Da aber ein solches Gestell die Nothwendigkeit mit sich führt, den Cylinder durch eine bloſse Kurbel zu drehen, so kann man bei der Anwendung eines Rades das Gestell wenigstens zur einen obern Hälfte ihrer Länge aus zwei kürzeren Glassäulen machen, die in den unteren hölzernen Theil eingelassen sind, an welchen das Rad angebracht ist. Um nämlich dem Cylinder eine sehr schnelle Bewegung geben zu können, wovon ganz vorzüglich die Menge der in einem gegebenen Zeitraume erregten E. abhängt, bringt man gewöhnlich an der einen Seite des Gestells ein Rad an, welches mit einer Kurbel gedreht wird und rings herum auf seinem Umfange eingeschnitten ist. An der einen Spindel des Cylinders wird ein Würtel angepaſst, dessen Durchmesser etwa den vierten Theil von dem Durchmesser des Rades beträgt, und welcher durch eine um ihn und das Rad geschlungene Schnur ohne Ende umläuft. Eine allgemeine Unvollkommenheit dieser Einrichtung ist, daſs die Schnur bisweilen schlaff wird, und die Maschine still steht.

1 S. unten.

Diesem wird abgeholfen, wenn man das Rad so einrichtet, daſs es dem Würtel genähert, und davon entfernt werden kann, indem man es durch eine Schraube jedesmal in der gehörigen Entfernung befestigt, sonst kann man auch in die Peripherie des Würtels mehrere Einschnitte von verschiedenen Halbmessern machen. Bedient man sich zur Drehung des Cylinders einer bloſsen Kurbel, so muſs der Hauptstiel derselben eine massive wohl überfirniſste Glassäule seyn, die in wohl getrocknetes und polirtes Holz gefaſst ist, um jede Ableitung der E. zu vermeiden. Versuche haben mich gelehrt, daſs diese Vorsicht nicht ohne Einfluſs auf die Verstärkung der Wirkung einer Maschine ist. Wenn sich gleich diese Einrichtung durch ihre gröſsere Einfachheit vor derjenigen mit demRade empfiehlt, so gewährt doch die Letztere, besonders bei Versuchen mit groſsen Batterien den Vorzug der viel schnelleren Ladung, die auch auf einen höhern Grad getrieben werden kann, weil in der viel kürzeren Zeit die E. durch die umgebende Luft weniger abgeleitet wird.

Ein vorzüglich wichtiges Stück zur Vollkommenheit einer Elektrisirmaschine ist die gute Einrichtung des *reibenden Körpers*. Bei den Cylinder-Maschinen kann man die Einrichtung am besten so treffen, daſs das Reibzeug mit dem negativen Leiter unmittelbar verbunden ist. Man nimmt am besten dazu ein seidenes mit Roſshaaren festausgestopſtes Kissen, über welches ein Stück dünnes Kalbleder gezogen wird, worauf man das Amalgama einreibt. Dieses Kissen wird an eine metallene Platte, welche seine Rückseite bildet, oder auch an eine der Krümmung des Cylinders gemäſs gebogene Holzplatte, die mit Stanniol überzogen ist, befestigt, in welche nach den beiden Enden zu hinlänglich starke messingene Stifte eingelassen sind, durch welche vermittelst einer starken Feder das Kissen gleichförmig angedrückt werden kann. Um das Kissen schicklich einzurichten, bemerkt Cavallo, müsse man es auf eine solche Art verfertigen, daſs diejenige Seite, an welcher sich die Oberfläche des Glases beim Herumdrehen andrängt, ein so vollkommener Leiter als möglich sey, damit sie (im Sinne der Franklin'schen Theorie) die E. so geschwind als möglich hergebe, die andere Seite aber so viel als möglich ein Nichtleiter, damit nichts von der am Glase angehäuften el. Materie wieder hinter das Kissen gehe. Um aber diesen Zweck zu erreichen, ohne daſs man

darum nöthig hat, den hintern Theil des Kissens aus einen Nichtleiter zu machen, der vielmehr aus einer gut leitender Platte bestehen muſs, um beim negativen Elektrisiren zwischen dem negativen Conductor und dem Kissen eine gute leitende Verbindung zu unterhalten, ist der vorne am Kissen angemachte Lappen von Wachstaffent, der von dem obern Rande des Kissens über die Fläche des Cylinders bis nahe an den ersten Leiter hinweggeht, vollkommen hinreichend. Diese Verbesserung, die unstreitig eine der wesentlichsten in der Einrichtung des Reibkissens ist, verdankt man dem Dr. Nooth[1]. Wenn man ein simples Kissen ohne einen solchen Lappen anwendet, so bemerkt man eine Feuerlinie an dem vordern Rande desselben, wo das Glas dasselbe verläſst, welche Beccaria aus der vom Glase zurückkehrenden E. ableitete[2]. Eben dieses leitete den Dr. Nooth auf jene wichtige Verbesserung. Nicholson[3] hat eine Reihe von Versuchen angestellt, um den Dienst des seidenen Lappens mehr aufzuklären. Sie sollen nach ihm zeigen, daſs er das vornehmste Wirkungsmittel zur Erregung der E. sey, indem das Kissen die E. nur hergebe, und den Druck am vordern Theile verstärke. Wenn aber Reibung die wesentliche Bedingung zur Erregung der E. ist, und wenn das Reibkissen, wie sich Nicholson in der Franklin'schen Sprache ausdrückt, die E. hergiebt, so muſs man doch wohl dieses als das eigentliche Erregungsmittel der E. betrachten. Dagegen ist die Bemerkung Nicholson's vollkommen gegründet, daſs die Entweichung der E. von der Oberfläche des Cylinders nicht sowohl durch die Dazwischenkunft der Seide, als eines Nichtleiters, als vielmehr durch eine *Bindung* verhindert werde, indem die Seide eben so stark negativ wird, als der Cylinder positiv ist. Die Hauptversuche Nicholson's sind übrigens folgende. Wenn das Kissen einen Zoll von dem Cylinder entfernt, und die Erregung durch den seidenen Lappen allein bewerkstelligt ward, so sah man einen Lichtstrom zwischen dem Kissen und dem Seidenzeuge, und der Conductor gab weit weniger Funken. Legte man eine Rolle trockenes Seidenzeug dazwischen, so

---

1 Phil. Tr. LXIII. Nr. 31.

2 Philos. Trans. LVI. S. 117.

3 Phil. Trans. Vol. LXXIX. P. II. S. 273. übers. in Gren's Journal der Physik III. 49. u. ff.

hörte der Lichtstrom auf, und man bekam noch weniger Funken. Legte man aber eine nicht isolirte Metallstange dazwischen, die sonst keinen Theil des Apparats berührte, so sah man einen dichten Strom zwischen der Stange und dem Seidenzeuge, und der Conductor gab sehr viele Funken. Eine Leidner Flasche, deren Knopf man an die Stelle der Metallstange brachte, war negativ geladen. Das Seidenzeug allein mit einem nach hinten zu angebrachten Stück Zinnfolie, verschaffte viel E.; mehr erhielt man, wenn das Kissen leicht angedrückt ward, noch mehr, wenn man die Hand an das Seidenzeug statt des Kissens anbrachte. Der Rand der Hand that eben so gute Dienste als die Fläche. Ein dickes oder zwei und mehrmal über einander gelegtes Seidenzeug elektrisirte schwächer, als ein einfacher sehr dünner Lappen. Nahm man das Seidenzeug vom Cylinder ab, so entstanden Funken zwischen beiden. Das erstere ward schwach negativ, der letztere positiv.

Auf folgende Weise will Nicholson die stärkste E. mit seinem Cylinder erhalten haben. Er reinigt denselben, und wischt den seidenen Lappen ab, läfst hierauf den ersteren so lange an einem mit Talg bestrichenen Reibzeuge umlaufen, bis er gleichförmig undurchsichtig geworden ist. Dann dreht er ihn so lange um, bis der seidene Lappen so viel Talg abgewischt hat, dafs er halb durchsichtig wird. Er bringt nunmehr etwas Amalgama auf ein Stück Leder, vertheilt es gleichförmig und bringt es an den Cylinder. Hierbei nimmt die Friction unmittelbar zu, und man mufs das Leder nicht eher wegnehmen, als bis sie aufhört, gröfser zu werden. Nimmt man es aber alsdann weg, so wird die Wirkung der Maschine sehr stark seyn. Das Reibzeug seiner Maschine besteht aus einem seidenen Lappen von dem Zeuge, welches die Kaufleute Persian nennen. Dieser wird an ein Leder geleimt. Das Kissen wird gegen den Lappen durch eine dünne Spiralfeder, die in der Mitte seines Rückens angebracht ist, angeprefst (wogegen sich die Feder selbst stemmt, ist nicht näher angegeben) so dafs es ihn in seiner ganzen Länge berührt. Man sollte nach dieser von Nicholson gegebenen, nicht sehr deutlichen, Beschreibung annehmen, dafs nicht eigentlich der seidene Lappen, sondern vermittelst des Leders der gläserne Cylinder selbst mit dem Amalgama gleichförmig eingerieben werde, was aber durchaus nicht zu billigen ist, da vielmehr sorgfältig vermieden werden

mufs, dafs sich keine Theile des Amalgam's an den Glas-Cylinder anhängen, weil sie den Rückgang der E. vom positiven Leiter nach dem Reibkissen erleichtern. Ob das Reibkissen blofs mit Taffent überzogen, oder über den Taffent vom untern Rande des Kissens noch ein Leder übergeschlagen ist, würde an sich gleichgültig seyn, da es ja doch eigentlich die Amalgamafläche ist, an welcher sich der Cylinder reiben soll — indefs scheint mir letztere Einrichtung den Vorzug zu verdienen, da sich das weiche geschmeidige Leder viel besser anlegt und weniger leicht abgenutzt wird. Der an das Reibkissen vorn angenähte Lappen braucht eben nicht von Wachstaffent zu seyn, jedoch mufs er folgende Eigenschaften haben: 1. er mufs durchaus nicht leiten, also auch die Feuchtigkeit nicht anziehen; 2. er mufs keine Unebenheiten haben, besonders an der Seite nicht, wo er das Glas berührt; 3. er mufs nicht starr seyn, damit er das Glas gleichförmig berühre; 4. er mufs nicht zu dick seyn, damit die Falte, womit er an das Reibzeug befestigt ist, sich nicht zu sehr über das Leder erhebe; 5. er mufs nicht zu dünn seyn, um die el. Flüssigkeit nicht durchzulassen. Mit diesen Eigenschaften wird jeder Taffent, er sey geölt, gefirnifst oder gewichst, oder habe auch nur seine ursprüngliche Beschaffenheit, gleich gute Dienste leisten.

Das Kissen selbst mufs wenigstens $\frac{1}{4}$, höchstens $\frac{1}{4}$ des Cylinders umfassen. Bei geringerer Breite wird jeder einzelne Glasstreifen nicht hinlänglich lange gerieben, um das Maximum von E. zu entwickeln, bei gröfserer Breite würde sein hinterer Rand dem ersten Leiter zu nahe kommen, und von da aus die Entladung desselben zu sehr begünstigen. Was seine Länge betrifft, so ist es bei guter Isolirung der Axe hinreichend, wenn die Enden desselben nach Verschiedenheit der Länge des Cylinders einen, höchstens zwei Zoll vom Rande, wo sich der Cylinder nach den Hälsen zu verschmälert, abstehen. Bei nicht so guter Isolirung der Axe wird beim negativen Elektrisiren die Wirkung bei einem solchen Abstande immer geschwächt. Sehr viel kommt auf die gehörige Anpressung des Reibkissens mit hinlänglicher Nachgiebigkeit desselben an. Bei meiner Maschine befindet sich die andrückende Feder im negativen Conductor selbst eingeschlossen, und an das hinlänglich starke Blech desselben an seiner Hinterfläche der Länge nach befestigt. Der Conductor und mit ihm die Feder haben eine mit dem Reib-

kissen gleichlaufende horizontale Ausdehnung. Dieser Conductor ist auf eine starke Glassäule gekittet, welche ihrerseits in einen passenden Fufs eingekittet ist, der in dem Bodenbrette der Maschine in einer eigenen Nute verschiebbar ist, und durch eine Stellschraube in jeder Lage fixirt werden kann. In die vordere, nach dem Reibkissen gerichtete, Fläche des Conductors sind zwei hinten und vorn offene Hülsen gelöthet, in welche jene oben beschriebene Zapfen oder Stifte der hintern Wand des Reibkissens passen und auf die von der Blechwand abstehenden Seitenflügel der zu diesem Ende gehörig gebogenen, starken Stahlfeder aufstehen. Durch das verschiedene Anschieben des negativen Conductors an den Cylinder kann man den Druck des Reibkissens beliebig reguliren, und die starke Feder wird dasselbe immer gehörig andrücken, wenn auch der Cylinder in seiner Umdrehung etwas ungleich wegen nicht vollkommen centraler Fassung oder nicht vollkommener Rundung seines Umfanges gehen sollte[1].

Der dritte Haupttheil der Maschine ist endlich der erste Leiter, ein isolirter, vollkommen leitender Körper, der an seiner, dem Cylinder zugekehrten, Seite nach der Gröfse des Cylinders mit einer oder einigen Spitzen, die in gleicher Richtung mit dem untern Rande des Lappens etwa ¼ Zoll unterhalb stehen, versehen ist, und dem man auch wohl den Namen des Collectors gegeben hat. Sonst gebrauchte man statt eines solchen Zuleiters eine Quaste von Goldfäden, aber wenige Spitzen thun weit bessere Wirkung. Nicholson nach dem Vorgange van Marum's liefs sogar die Spitzen ganz weg, und begnügte sich, den dünnen cylindrischen Zuleiter unterhalb dem freien Rande des Wachstaffents und von gleicher Länge mit diesem so nahe wie möglich an den Glascylinder zu bringen. Ich habe indefs durch vergleichende Versuche gefunden, dafs bei sonst gleicher Einrichtung, namentlich bei gleicher Ausdehnung des Conductors, die Anhäufung der E. an demselben einen höheren Grad erreicht, wenn der sogenannte Einsauger mit einigen Spitzen bewaffnet ist. Es beruht nämlich alles darauf, dafs in diesem Einsauger die Dichtigkeit der E., welche derjenigen des

1 Die Einrichtung, welche J. C. Hoffmann in der oben angeführten Schrift S. 32 dem Reibzeuge zu geben vorschlägt, habe ich an einer von ihm verfertigten Maschine nicht bewährt gefunden.

Cylinders entgegengesetzt ist, den höchst möglichen Grad annehmen könne, um mit der gröſsten Leichtigkeit in hinlänglicher Menge auszuströmen, und die durch das Reiben erzeugte E. fortdauernd auszugleichen, wodurch dann die (derjenigen des Cylinders gleichnamige) im isolirten Conductor zurückbleibende E. auf den höchsten Grad gebracht wird, und in dieser Hinsicht haben feine hervorragende Spitzen vor allem den Vorzug, wie Biot nach Coulomb's Versuchen mit aller Schärfe gezeigt hat. Ehemals hing man den ersten Leiter an seidenen Schnüren auf, er steht aber auf Glasfüſsen weit fester und sicherer. Man verfertigt ihn am besten von Messingblech, und nur bei sehr groſser Ausdehnung, um die Kosten zu vermindern, aus Holz oder Pappe mit Zinnfolie überzogen. Einen solchen weit ausgedehnten Leiter kann man nun als *zweiten Leiter* von dem *ersten* gleichsam noch unterscheiden und auf seine zweckmäſsige Einrichtung kommt zur Verstärkung der Wirkungen der Elektrisirmaschine sehr viel an, worauf ich noch bei der näheren Betrachtung dieser Wirkungen zurückkommen werde. Zur weiteren Erläuterung und Veranschaulichung des bisherigen mag eine kurze Beschreibung und Abbildung einer sehr einfachen Cylindermaschine nach Cavallo dienen, an welcher fast alle die von mir angegebenen Verbesserungen angebracht werden.

Fig. 40. Ihr Gestell besteht aus dem Brette ABC, welches mit zwei eisernen Klammern an den Tisch geschraubt werden kann. Auf diesem Brette stehen zwei starke hölzerne Säulen AH und LK, die den Cylinder und das Rad tragen. An der messingnen Haube, worin der eine Hals des Cylinders FF gefaſst ist, geht eine stählerne Spindel durch die Säule KL hindurch, und trägt jenseits dieser Säule einen Würtel. Auf der Peripherie dieses Würtels sind 3—4 Einschnitte, um der veränderlichen Länge der Schnur nachgeben zu können, welche um den Würtel und den Einschnitt an der Peripherie des Rades D gezogen wird. In der andern Haube des Cylinders ist ein kleines Loch, in welches das conische Ende einer starken Schraube geht, die durch die Säule H geschraubt ist. Das Rad D wird vermittelst des Handgriffs E um eine starke Axe gedreht, welche in der Säule LK befestigt ist.

Das *Reibzeug* dieser Maschine besteht aus einem dünnen, mit Haaren ausgestopften, seidenen Kissen, welches an jedem Ende um zwei Zoll kürzer als der Cylinder ist, und auf einmal etwa

den vierten Theil von dem Umfange des Cylinders berührt. Es ist mit seidenen Schnüren an ein Holz gebunden, das eine zu der Oberfläche des Cylinders passende Gestalt hat. Am obern Ende des Kissens befindet sich ein Stück Wachstaffent, das fast den ganzen oberen Theil des Cylinders bedeckt; an das untere Ende des Holzes, woran das Kissen gebunden ist, wird ein Stück Leder befestigt, welches sich über das Kissen biegt, damit es zwischen dieses und den Cylinder kommt, und auf welches das el. Amalgama mit etwas Schweineschmalz eingerieben wird. Das Kissen wird von zwei Federn gehalten, die hinten an dasselbe angeschraubt sind, und aus der hölzernen Haube einer starken gläsernen Säule hervorkommen, die auf dem untern Brette steht. Sie muſs wohl lackirt seyn und hat einen hölzernen Fuſs, der sich in einem Falze im Fuſsbreite verschieben und durch eine Schraube feststellen läſst, damit man nach Belieben das Kissen stärker oder schwächer an den Cylinder andrücken könne. Der erste Leiter ist von Messingblech, und ruht auf zwei mit Siegellack überzogenen Glassäulen, die mit messingnen Füſsen in das Fuſsbrett befestigt sind. Er saugt die E. (nach der Franklin'schen Ansicht gesprochen) durch die Spitzen des Kammes oder Collectors L ein, welche etwa einen halben Zoll von der Oberfläche des Cylinders abgerückt werden.

Vom Kissen hängt gewöhnlich eine Kette herab, welche die Erde berührt, und in diesem Falle erhält der erste Leiter + E. Verlangt man — E so wird diese Kette abgenommen und an den ersten Leiter gehangen, wonach das isolirte Kissen beim Umdrehen — E. erhält. Verbindet man mit demselben einen andern isolirten Leiter, der dem ersten völlig ähnlich ist, so wird auch dieser — E erhalten.

Was an dieser Maschine zu tadeln ist, sind die Messingfüſse, in welche die Glassäulen, die den ersten Conductor tragen, eingekittet sind, da sie zur Ableitung der E. Veranlassung geben, in welcher Hinsicht die von van Marum angegebene Einrichtung solcher Füſse weit vorzuziehen ist [1]. Auch kann es sich bei der Unterstützung des Cylinders auf der einen Seite wohl ereignen, daſs die conische Spitze aus der Vertiefung in der Haube ausweicht, und der Cylinder dann durch sein eigenes

1 S. unten.

Gewicht einen Bruch des Halses in der entgegengesetzten Haube herbeiführt. Endlich scheint die von mir oben näher beschriebene unmittelbare Verbindung des Reibkissens mit dem negativen Leiter wegen ihrer Einfachheit den Vorzug zu verdienen.

ADAMS[1] beschreibt zwei Cylinder-Maschinen, die beide mit einander übereinkommen, nur daſs die eine mit einer bloſsen Kurbel, die andere vermittelst eines Rades bewegt wird. Sie sind sonst beide völlig wie CAVALLO's Maschine eingerichtet. Nur am Kissen fehlt das Leder, statt dessen geht ein Stück Wachstaffent oder Seidenzeug vom untern Rande des Kissens aus, und über den Cylinder so weit hinweg, daſs es fest an die einsaugenden Spitzen des ersten Leiters anstöſst. Der Leiter zum — E ist an einem hölzernen Arme auf der Glassäule, die das Kissen trägt, fest, eine Vereinfachung, die eigentlich NAIRNE zuerst eingeführt hat, der die meisten Glascylinder-Maschinen in England, zum Theil von sehr groſser Wirksamkeit, verfertigte. Die einzige, wesentlich neue, Einrichtung an den Cylinder-Maschinen, die zu den bisher beschriebenen noch hinzugekommen, ist die von NICHOLSON angegebene, um vermittelst einer Cylinder-Maschine, wie dieses durch VAN MARUM später an den Scheiben-Maschinen so sinnreich ausgeführt worden ist, an einem und demselben Leiter beide Elektricitäten darzustellen. Zu diesem Behuf schlug er vor, an eben demselben Leiter zwei Kissen eines auf jeder Seite zu befestigen, das Reibzeug aber mit dem seidenen Lappen beweglich zu machen. Will man die entgegengesetzte E. haben, so löst man das Leder von dem Reibzeuge ab, und befestigt es an dem andern Kissen auf der entgegengesetzten Seite des Cylinders, der selbst nun nach der entgegengesetzten Seite umgedreht wird[2]. Indeſs sind dergleichen Maschinen nie in Gang gekommen, und NICHOLSON's Beschreibung derselben ist selbst zu kurz, um sich eine recht deutliche Vorstellung davon zu machen.

B. Glasscheiben-Maschinen.

Um das Jahr 1766 wurden die Maschinen mit *runden Glasscheiben* bekannt, welche der englische Künstler RAMSDEN mit vielem Beifalle verfertigte. Er gab sich für den Erfinder derselben aus, wofür ihn auch PRIESTLEY in der ersten Ausgabe

---

1 Versuch über die E. S. 14 ff.

2 Vergl. Gren's Journal der Ph. III. 56.

seiner Geschichte der E. erklärt, in der zweiten aber wird Dr. Ingenhouss als Erfinder genannt. Sigaud de la Fond[1] erzählt, dafs er schon 1756 eine Scheibe von Krystallglas an einer Axe gedreht mit Vortheil als Elektrisirmaschine gebraucht habe; als sie ihm aber durch den allzustarken und ungleichen Druck des Kissens zersprungen sey, so habe er diesen Gedanken wieder aufgegeben. Nach einer Nachricht in der allgemeinen deutschen Bibliothek[2] ist der eigentliche Erfinder dieser Maschinen Planta, Stifter und ehemaliger Director des Haldenstein'schen Seminariums, der sich derselben um das Jahr 1760 bedient hat. Dr. Ingenhouss[3] sagt, dafs er seit dem Jahre 1764 angefangen habe, sich der Glasscheibe zu bedienen, weil er von der Reibung derselben an beiden Seiten sich viel versprochen. Er habe eine noch sehr unvollkommene Probe davon dem Dr. Franklin und andern Freunden in London gezeigt, worauf sie bald von Ramsden und andern Künstlern nachgemacht worden.

Nach der ersten Einrichtung bestanden diese Maschinen aus einer kreisrunden Glasscheibe, welche in verticaler Stellung mit einer Kurbel gedreht wurde, die an einer eisernen, mitten durch die Glasscheibe hindurchgehenden Axe befestigt war. Die Scheibe wird von vier ovalen Kissen gerieben, die ungefähr zwei Zoll breit sind, und von denen je zwei an jeder Seite der Scheibe an den beiden Enden des verticalen Durchmessers stehen. Das Gestell besteht aus einem Brette, das man mit einer eisernen Klammer auf einen Tisch befestigen konnte. Auf dem Brette stehen zwei Pfeiler von Holz, die mit einander parallel laufen, und oben durch ein Querholz verbunden sind. Diese tragen in ihrer Mitte die Axe der Glasscheibe, und an sie sind auch die Kissen befestigt, die durch Schrauben mehr oder weniger festgedrückt werden können. Der Leiter war ein hohler Cylinder von Messing, an dessen Ende sich zwei Arme ausbreiteten, welche bis nahe an das Glas reichten, und an ihrer innern gegen die Scheibe gekehrten Seite mit Spitzen versehen waren. Eine umständliche Beschreibung dieser damals ge-

---

1 Précis des Phén. él. P. I. Sect 1. Chap. 2.

2 Anhang zum 13—24. Bande 1ter Abtheilung S. 549.

3 Vermischte Schriften herausgegeben von Molitor. 2. Aufl. Wien 1787. gr. 8. I. Bd. S. 172. u. f.

bräuchlichen Maschinen liefern SCHMIDT[1] und d'IZARRE[2]. So viel auch diese Maschinen gleich im Anfange leisteten, so gaben sie doch bei dieser Einrichtung zu der Klage Veranlassung daſs die metallene Achse sehr viel von der erregten E. annehme und ableite. FONTANA hatte für das Cabinet des Groſsherzogs von Toskana eine solche Maschine mit einer doppelten Scheibe von 18 Zoll Durchmesser verfertigen lassen, wo jede Scheibe auf beiden Seiten an zwei Orten gerieben wurde. Diese gab so starke E., daſs der Leiter Funken gegen die Axe schlug, welche durch die Kurbel und den Körper der drehenden Person in den Boden gingen.

CUTHBERTSON in Amsterdam half dem erwähnten Fehler dadurch ab, daſs er die kupferne Achse zwischen beiden Glasscheiben mit einem gläsernen Ringe umgab, den er mit Siegellack an die Scheiben ankittete. Die beiden Arme des ersten Leiters führte er zwischen die beiden Scheiben hinein bis nahe an den Glasring, so daſs sie alle dazwischen erregte E. aufnehmen muſsten. Bei der ersten Einrichtung dieser Scheiben-Maschine war es nicht leicht möglich, die Kissen zu isoliren und negative E. zu erhalten. LE ROY in einer schon 1772 vorgelesenen Abhandlung[3] schlug daher vor, die Kissen an eine Glassäule zu befestigen, und zwei Leiter anzubringen, wovon einer mit dem Kissen verbunden, der andere gegen die Scheibe gerichtet ist, wodurch man in Stand gesetzt würde, beide Arten von E. wie bei den Cylinder-Maschinen zu erhalten. LICHTENBERG in Gotha hatte sich schon im Jahr 1773 eine sehr vollkommene Scheiben-Maschine zu positiver und negativer E. nach seiner eigenen Erfindung verfertigen lassen. Der Graf von BRILHAC gab eine Maschine mit zwei Glasscheiben an[4], welche vermittelst eines groſsen Rades, eben so wie sonst die Glas-Cylinder, umgedreht wurden. Dadurch würde in dem Verhältnisse, in welchem in einer gegebenen Zeit mehr Glasfläche, als bei der gewöhnlichen Einrichtung, gerieben werden konnte, die Elektricitätserregung unstreitig vermehrt werden können. Indeſs geht

---

1 Beschreibung einrr Elektrisirmaschine und deren Gebrauch. Jena 1773. 4.

2 Von der E. Erster Theil. Frankfurt 1784. 8. S. 23 u. ff. Taf. IV.

3 Rozier observations sur la Physique. Tome IV. Janv. 1775. p. 53. ff.

4 Observ. sur la Physique May 1780.

dadurch der Vortheil einer mehr compendiösen Einrichtung verloren, und bei grofsen Glasscheiben nimmt die Gefahr des Zerbrechens sehr zu. Daher ist diese Einrichtung nicht in Gang gekommen, so wenig als die vom Abt Bertholon vorgeschlagene einer umgekehrten Scheibenmaschine, nach welcher sich ein runder Reiber zwischen zwei Glastafeln bewegte, so wie die Vorrichtung eines gewissen Franz Magiollo in Venedig[1], der an dem Rande eines buchsbaumenen Rades von 3 Fufs im Durchmesser 8 Glas-Platten von ½ Fufs Breite setzte, welche einen Glasring um dasselbe bildeten. Ingenhouss[2] stellte seine ganze Maschine auf 4 Glasfüfse, wodurch also die Kissen zur Erhaltung der negativen E. isolirt werden können. Die Kissen selbst waren mit Leder und Flanell überzogen und wurden durch Federn angedrückt. Von ihnen gingen zwei Flügel von Wachstaffent nach Art des Lappens des Dr. Nooth bei den Cylinder-Maschinen aus bis ganz nahe an die Arme des ersten Leiters.

Um die E. zu verstärken, wurden selbst drei Scheiben auf eine Axe gefafst, wodurch aber die Isolirung der Reibkissen fast unmöglich, so wie die Bewegung der Maschine sehr erschwert wurde. Besonders suchte man aber durch Gröfse der Scheiben die Wirkung zu verstärken. Sigaud de la Fond führt als die gröfste in Frankreich, die ihm damals bekannt geworden war, die des Herzogs von Chaulnes an, deren Scheibe 5 Fufs im Durchmesser hatte und bei günstiger Witterung Funken von 22 Zoll Länge gab[3]. Die gröfste Maschine dieser Art wurde in der Zeit, in welcher die bisher angeführten Verbesserungen allmälig bei den Scheibenmaschinen angebracht worden waren, von Cuthbertson für das Teyler'sche Museum in Haarlem verfertigt, welche durch die mit ihr von van Marum angestellten Versuche so bekannt geworden ist. Sie besteht aus zwei Glasscheiben, jede von 65 englischen Zollen im Durchmesser, die aus Frankreich gekommen sind. Sie stehen 7½ Zoll weit aus einander, und werden an 8 Kissen, jedes 15½ Zoll lang gerieben. Die Axe und um sie an der Scheibe selbst ein Kreis von 33 Zoll Durchmesser ist mit einer harzigen Mischung bedeckt.

---

1 Licht. Magazin Bd. II. St. 1. S. 137.

2 Vermischte Schriften 1784. 8. S. 147.

3 Journ. de Phys. 1788. Nov. p. 62.

Die Achse liegt auf Glassäulen, auch steht das ganze Gestell der Maschine auf Glasfüſsen, um die Reibkissen dadurch isoliren und negativ elektrisiren zu können. In gerader Linie mit der Achse 68 Zoll weit von den Scheiben steht eine gläserne 57 Zoll hohe Säule, die einen kupfernen, 22 Zoll langen, Cylinder mit kupfernen Kugeln von 9 Zoll Durchmesser an seinen Enden trägt. Am Ende von der Maschine abwärts hat dieser Cylinder eine Röhre mit einer Kugel von 4″ Durchmesser, (von welcher die gröſsten Funken erhalten werden s. u.) am andern Ende zwei rechtwinklich angesetzte Arme 9 Zoll lang am Ende mit Kugeln von 6 Zoll. Auf jeder Seite der Maschine parallel mit der Achse steht noch eine 57 Zoll hohe Glassäule mit einem solchen Cylinder. Aus jedem geht ein rechtwinklich gebogener Arm 14 Zoll lang hervor. Beide Arme kommen zwischen die Scheiben, und haben an jeder Seite vier Spitzen zum Einsaugen. Diese drei Hauptstücke des Leiters sind noch durch zwei kupferne Cylinder verbunden, der ganze Leiter aber hat 23¼ Quadratfuſs Oberfläche. Zwei Personen, bei langer Dauer vier, die bei negativer Elektrisirung auf einem eigenen Gestelle isolirt sind, drehen die Scheiben an ihrer langen Kurbel um. So riesenhaft auch die Wirkungen dieser Maschine sind, so ist sie doch weit entfernt von dem Ideale einer vollkommen gebauten Scheibenmaschine. Insbesondere gilt dieses von der Einrichtung derselben für die negative E, die daher auch viel schwächer als die positive ausfällt. Da man nämlich die Reibkissen nicht für sich allein isoliren kann, sondern das ganze Gestell und mit diesem die zwei Personen, die sie drehen, mit isoliren muſs, so wird der Luft eine allzugroſse leitende Fläche dargeboten, und dadurch die Zerstreuung der negativen E. und die Zuleitung von positiver aus der Atmosphäre zu sehr begünstigt.

Cuthbertson, der diese groſse Maschine verfertigt hatte, führte eine ähnliche in einem kleinern Maſsstabe aus, deren Einrichtung hier noch eine nähere Angabe verdient, da sie zu einer Reihe interessanter Versuche der berühmten holländischen Physiker J. R. Deimann und A. Paets van Troostwyk gedient hat[1].

Diese Maschine besteht aus zwei Glasscheiben von 31 engl.

1 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. herausgegeben von John Cuthbertson Leipz. 1790. 8.

Zollen Durchmesser, welche 7 Zoll weit von einander parallel an einer Achse stecken und durch vier Paar Kissen gerieben werden, welche 8 Zoll lang, 2 Zoll breit, auch wie bei der Teyler'schen mit Leder überzogen, und an ihrem vordern Rande mit Streifen von Wachstaffent versehen sind. Die Achse der Scheiben ist von Messing und hat 1,5 Z. Durchmesser. In der Nähe der Scheiben ist sie mit hölzernen Cylindern umgeben, welche 4 Zoll dick mit einem el. Kitt überzogen sind, so wie die Scheiben selbst bis auf 3 Zoll weit von der Achse einen Ueberzug von Siegellack haben. In das Ende der Achse, wo sich die Kurbel befindet, sind Schraubengänge geschnitten, mittelst deren ein Stück massives, mit Siegellack überzogenes Glas 10 Zoll im Durchmesser und zwei Zoll dick an die Achse geschraubt wird. An dieses Glas ist auf der innern Seite ein Stück Messing mit einer Schraubenmutter, und an der äufsern eine viereckige messingene Platte mit einer Schraube befestigt. An dieser sitzt die Kurbel, die einen Kreis von 22 Zoll Durchmesser beschreibt. Die Achse wird von drei Säulen aus massivem Glase getragen; zwei davon befinden sich an dem vordern Theile, jede 4 Zoll weit von der Kurbel entfernt, die dritte trägt der Achse hinteres Ende. Ihre Höhe ist 3 Fufs 4 Zoll; jede Säule besteht aus zwei Stücken, die in der Mitte durch einen messingnen Cylinder verbunden sind. Das Fufsstück und Gebälke der Maschine, an welche auch die Kissen befestigt sind, ist von Mahagoniholz. Das Gebälke, welches die obern Kissen trägt, hat keine gröfsere Oberfläche, als eben nöthig ist, um die Vorrichtung, an welcher die Kissen sind, zu halten. Unter der zwei Zoll dicken Mahagonitafel, auf welcher die Glassäulen befestigt sind, welche die Maschine tragen, befindet sich eine andere Tafel von Mahagoniholz, von eben der Gestalt und Dicke, wie das Fufsstück; diese ist an Letzteres angeschraubt, unten ruht sie auf drei massiven Glassäulen, die 2 Z. dick und 16 Z. lang sind. Diese Säulen sind mit ihrem Fufse in eine andere Tafel von Mahagoniholz befestigt, welche eben die Form hat, wie die vorigen, nur etwas gröfser ist, mit welcher letztern Tafel die Maschine den Fufsboden berührt, und ihrer eigenen Schwere überlassen, hinlänglich fest steht, was auch den Vortheil gewährt, dafs man die Maschine zu jeder Zeit verrücken kann. Der erste Leiter besteht aus 5 hohlen messingnen Cylindern. Zwei derselben, welche CUTHBERTSON die *Arme*

nennt, haben die Gestalt eines Winkelhakens; an dem einen Ende derselben befinden sich die *Empfangstücke*, welche die E. aufnehmen, am andern Ende gehen unter einem rechten Winkel zwei Arme heraus, die sich in das Hauptstück des Conductors endigen. Bei allen Absätzen dieser Stücke sind Kugeln angebracht. Die Empfangstücke haben an jeder Seite fünf stählerne Spitzen, und ihre Entfernung von der Achse beträgt 8 Zoll. Der ganze erste Leiter ruht auf einer 2 Zoll dicken und 2 Fuſs hohen massiven Glassäule, welche da, wo der Conductor aufliegt, in einer Länge von 6 Zoll mit einem dicken, nach unten hin dünner werdenden, Ueberzuge von Siegellack bedeckt ist. Um die Mitte der Säule befindet sich abermals ein solcher spindelförmiger Ueberzug. Beim *positiv* Elektrisiren wird ein Messingdraht von ¼ Zoll Durchmesser mit dem Gebälke der Maschine verbunden. Dieser ist an der Decke des Zimmers befestigt, an einer Wand auf den Fuſsboden herab und zwischen den Tafeln desselben bis an das andere Ende des Zimmers fortgeführt, wo er durch ein Loch im Boden bis in eine Grube geht, die beständig mit Grundwasser angefüllt ist. Mit diesem leitenden Drahte wird auch das Fuſsstück verbunden. Auf diese Art wird dem Kissen die el. Materie zugeführt, und wenn man die E., welche die Maschine einem andern Körper mitgetheilt hat, wieder hinwegschaffen will, wird dieser letztere ebenfalls mit dem leitenden Drahte verbunden.

Zum *negativ* Elektrisiren nimmt man die Empfangstücke von den Armen ab, und stellt den Conductor so auf die Glassäule, daſs die Arme in einer Verticalebene stehen, und Kopf und Fuſs des Pfeilers, welcher die Achse trägt, berühren. Um die positive el. Materie, welche die Scheiben durch das Reiben an den Kissen erhalten, wieder abzuführen, und dadurch die Anhäufung der — E an den Kissen zu erhalten, wird bei der Teyler'schen und andern Scheiben-Maschinen der gewöhnliche positive Leiter mit dem Fuſsboden verbunden. Hier aber werden zwei besondere Stücke dazu gebraucht, die zu beiden Seiten der Mitte des Fuſsstückes zwischen die Ränder der Scheiben gestellt werden. Von diesen beiden Stücken besteht jedes aus einer massiven Glassäule, oben mit einer hölzernen Bekleidung versehen, in welche das Empfangstück, das sich vorhin am Arme des ersten Leiters befand, mit seiner Kugel gesteckt wird. Auf dieser Kugel sitzt noch eine kleinere, von der ein Draht

zum Boden herabgeht und die el. Materie abführt. Diese Vorrichtung kann auch gebraucht werden, um Batterien ohne den grofsen Conductor positiv zu laden, indem man sie mit dem erwähnten Drahte verbindet. Eben so kann zur negativen Ladung einer Batterie ein kleinerer Leiter gebraucht werden, der aus einer gebogenen messingnen Röhre von 1 Zoll Durchmesser besteht, und zwei Fufs von dem hintern Pfeiler der Maschine absteht. Diese Einrichtung verschafft also den Vortheil, Batterien sowohl positiv als negativ ohne einen Conductor von grofsem Umfange laden zu können, der sonst der feuchten Luft zu viel Fläche darbietet. Man hat auch noch den Nutzen, dafs man auf diese Art kein so grofses Zimmer zu den Versuchen bedarf.

Van Marum beschäftigte sich aber besonders mit der Verbesserung der Scheiben-Maschine, und wir verdanken ihm die vollkommene Einrichtung, welche sie nunmehr besitzet, und wodurch sie jede andere Art von Elektrisirmaschinen übertrifft. Im Jahre 1789 machte er zuerst eine bessere Einrichtung der *Reibzeuge* bekannt[1], welche vorzüglich darin bestand, dafs er an dem Ende derselben, wo die Scheibe bei ihrer Bewegung sie verläfst, den Wachstaffent von Dr. Nooth anbrachte mit einer angemessenen Einrichtung, um ihn recht glatt zu spannen, auch richtete er die Reibkissen selbst so ein, dafs sie an das Glas auf eine gleichförmige Art angedrückt wurden. Im Jahre 1791 erschien aber die Beschreibung und Abbildung der ganz neuen Einrichtung der Scheibenmaschine selbst in einem Schreiben an Ingenhouss[2], die wir hier wieder ihrem Wesentlichen nach mittheilen, da diese neu eingerichtete Maschine als eine Mustermaschine zu betrachten ist.

---

1 Lettre de M. van Marum à Mr. le Chev. Landriani a Milan, contenant la description des frottoirs électriques, dont l'effêt surpasse de beaucoup celui des frottoirs ordinaires. à Haarlem 1789. 4; auch im Journal de Physique Avril 1789 S. 274. ff.; übers. in Gren's Journal der Physik II. 167.

2 Description d'une Machine électrique construite d'une manière nouvelle et simple, et qui réunit plusieurs avantages sur la construction ordinaire im Journal de Physique Juin 1791, auch angehängt der Tweede Vervolg der Priefneminugen u. s. w. Haarlem 1795. Uebers. im Gothaischen Magazin für das Neueste aus der Physik VII. Bd. 4tes St. S. 461 ff. ingl. in Gren's Journ. der Physik IV. 3. u. ff.

Das Hauptaugenmerk van Marum's bei der Errichtung seiner Maschine war, dasselbe mit der Scheibenmaschine zu leisten, was Nicholson durch eine neue Einrichtung an der Cylindermaschine bewirkt hatte, nämlich an einem und demselben Leiter *beide Elektricitäten*, die positive und die negative darstellen zu können, demnächst aber auch die negative E. von derselben Stärke wie die positive zu erhalten, was bei der früheren Einrichtung, wo die negative E. nur durch Isolirung der ganzen Maschine erhalten werden konnte, unmöglich gewesen war. Die beschriebene Maschine hat eine Scheibe von 32 Zoll. Die Reibzeuge an derselben sind unmittelbar isolirt, indem jedes Paar von einer eigenen Glassäule A getragen wird. Bei den Scheibenmaschinen, wie sie sonst eingerichtet waren, sind die Reibzeuge vertical gestellt, es müssen also zwei Seitenpfosten dabei seyn, die oben ein Querstück tragen, an welchem die oberen Reibzeuge befestigt werden. Um bei dieser Einrichtung eine vollkommenere Isolirung der Reiber erhalten zu können, sind Anstalten nöthig, welche van Marum früher bei einer aus zwei Scheiben bestehenden Maschine angebracht hatte, die aber eine unbequeme Ausdehnung herheiführten. Die neue bequemere horizontale Stellung und damit erreichte vollkommene Isolirung der Reibkissen wird nur dadurch möglich, daſs die Axe der Scheibe Bh auf einer einzigen Säule C ruhet und auf derselben gedreht wird. Diese letztere Säule hat aus diesem Grunde ein verlängertes Gesimse K, welches zwei kupferne Pfannen D trägt, die ganz nahe an den Enden des verlängerten Gesimses angebracht sind, worin sich die Achse drehet, und an welchen zwei entsprechende, über die Achse greifende, Ueberlagen durch zwei starke Schrauben befestigt sind, um die Achse gehörig festzuhalten. Letztere hat ein Gegengewicht O von Blei, um zu verhüten, daſs das Gewicht der Scheibe nicht zu viel Reibung in den Ueberlagen D verursache. Man sieht gleich beim ersten Blicke, daſs die Reibzeuge von allen umgebenden Gegenständen durch ihre gläsernen Träger hinlänglich entfernt sind, um beim negativen Elektrisiren E. aus ihnen anziehen zu können, die Achse etwa allein ausgenommen, die aber zum Theil aus einem Nichtleiter verfertigt ist, um die Anziehung des + und die Zerstreuung des — nach ihr zu verhindern. Der Bogen des Conductors EE, welcher die beiden Zuleiter (Einsauger des + E) FF trägt, ist

Fig. 41 u. 42.

an der Achse G fest, welche sich in der Kugel H dreht. Diesem Bogen oder Halbkreise EE gegenüber an der andern Seite der Scheibe befindet sich ein anderer Bogen JJ aus Messingdraht von ½ Zoll Dicke, an dessen Enden zwei kleinere Zuleiter LL sich befinden, der auf die Achse durch eine Scheibe, von welcher seine beiden Arme ausgehen, aufgesteckt ist, und frei um dieselbe gedreht werden kann, wie der Bogen EE, um ihn entweder in die verticale oder horizontale Stellung bringen zu können, in welcher letzteren er einerseits den obern, andrerseits den unteren Rand der Reibkissen berührt, um sie beim *positiven* Elektrisiren mit (positiver) E. zu versehen. Will man sich im Gegentheile desselbigen Conductors für die *negative* E. bedienen, so hat man nichts weiter nöthig, als den Bogen EE zu drehen, bis seine Zuleiter FF die Reibzeuge berühren, und den Bogen JJ in die verticale Stellung zu bringen, um die E. zu absorbiren, welche durch das Reiben auf der Oberfläche der Scheibe haftet, zu welchem Behuf die kleinen Zuleiter LL ungefähr ⅛ Zoll von der Scheibe abstehen. Die sonstige Einrichtung des ersten Leiters an dieser Maschine gewährt durch seine Stabilität, indem er mit derselben ein Stück ausmacht, einen bedeutenden Vortheil vor den sonst gebräuchlichen ersten Leitern der gewöhnlichen Elektrisirmaschine, denen man stets wieder ihre rechte Stellung geben mufs, und die selbst während der Versuche wegen der Erschütterung des Bodens ihre Lage in Beziehung auf die Scheibe verändern können. Der Conductor besteht blofs aus einer Kugel H von 9 Zoll Durchmesser durch drei Schrauben auf eine kleine Haube M befestigt, welche an eine Zwinge gelöthet ist, die auf den Träger N gekittet wird, und dieser Träger ist auf dem Bodengestelle der Maschine festgemacht. Die Zuleiter FF sind ohne Spitzen, es sind Cylinder von 6″ Länge und 2¼ Breite aus dünnem Kupfer, die sich in Halbkugeln endigen. Van Marum beabsichtigte vorzüglich dadurch das Ausströmen der E. gegen das Reibzeug zu verhindern, welches aus den demselben am nächsten gelegenen Spitzen der Saugarme bei der gewöhnlichen Einrichtung statt finde. Indefs haben mich Versuche mit einer ganz nach dem Muster der beschriebenen eingerichteten Maschine gelehrt, dafs diese Art von Zuleitern, wenn sie auch der Scheibe noch so nahe gebracht werden, (van Marum näherte sie bis auf ⅛ Zoll) doch die E. nicht so vollkommen einsaugen,

als Spitzen, und dafs man auch das Ausströmen nach dem Reibkissen (und nach der Achse, welches nicht weniger in Betrachtung kommt) hinlänglich verhütet, wenn man an die Enden der beiden Bogen zwei runde, etwa 5″ im Durchmesser haltende, etwas ausgehöhlte Scheiben anbringt, die an ihrer der Glasscheibe zugekehrten ausgehöhlten Fläche mit drei Spitzen versehen sind. Um die Zerstreuung der E. des Conductors längs den Trägern zu verhüten, sind diese mit Kugeln T T von Mahagoniholz versehen, welche zugleich die kupfernen Zwingen, die auf die Träger eingekittet sind, bedecken, deren Ränder, wenn sie unbedeckt wären, den Verlust eines grofsen Theils der dem Conductor mitgetheilten E. verursachen würden. Alle drei Träger haben auch unten Ringe von Mahagoniholz, V, V, V, um die kupfernen Zwingen zu bedecken, in welche die Träger gekittet, und welche mit breiten Füfsen versehen sind, um auf der Basis des Apparats vermittelst eiserner Schrauben recht gut befestigt zu werden.

Eine besondere Sorgfalt hat van Marum darauf verwendet, die Achse an seiner neuen Maschine isolirend zu machen, um alle Zerstreuung der E. durch dieselbe möglichst zu verhindern. Die Mitte des nicht leitenden Theils der Achse ist ein Cylinder von Nufsbaumholz a a a a, der am Feuer so stark ausgetrocknet worden ist, dafs er so gut isolirt als Glas. Er wird nachher, wenn er noch heifs ist, mit Bernsteinfirnifs überzogen. Die beiden Enden dieses Cylinders, welche von einem kleineren Durchmesser sind, werden durch starke Hammerschläge in starke kupferne Kappen oder Zwingen b und c eingeprefst, und durch drei eiserne Schrauben d d festgehalten. Der Cylinder a a und die beiden Zwingen b, c sind mit einer Lage von Gummilack e e e e bedeckt, um den hölzernen Cylinder desto besser in seinem isolirenden Zustande zu erhalten und zu verhindern, dafs der Stand der Zwinge c nicht gegen die andere Zwinge ausströme, was verursachen würde, dafs es auch die Zuleiter des Conductors gegen die Achse thäten. Der Boden der Zwinge b ist auf das Ende der eisernen Achse B festgeschraubt. Der Boden der Zwinge c, der 4″ im Durchmesser hat, endigt sich in eine Achse, von 1″ Dicke und 2″ Länge, deren Ende zu einer Schraube geschnitten ist. Man stellt die Glasscheibe darauf und drückt sie durch eine Schraubenmutter h von Buchsbaumholz, die zu einer Halbkugel abgedreht ist, fest. Zwischen

der Fläche der Zwinge und der Scheibe und zwischen dieser und der Schraube h sind zwei Ringe von Filz, und in dem Loche der Scheibe, das zwei Zoll im Durchmesser hat, ist auch ein Ring von Buchsbaumholz, damit die Scheibe auf keine Weise das Kupfer berühre und keine Risse darin entstehen. Die Schraubenmutter h hat zwei Löcher i i, um die Spitzen eines eisernen Schlüssels aufzunehmen, mit welchem man auf und zuschraubt. Diese Art der Fassung der Scheibe gewährt mannigfaltige Vortheile vor der sonst gewöhnlichen, wo die Scheibe zwischen zwei Backen fest gekittet wurde. Die Gefahr, welche beim Aufkitten der Backen für das Springen der Scheibe statt findet, fällt hier ganz weg, die Maschine wird ungemein leicht transportabel, da die Scheibe für sich allein, wie jedes Spiegelglas leicht verpackt, uud auch die übrigen Theile, von einander getrennt, bequem zusammengelegt werden können; endlich ist, wenn man ein Unglück mit der Scheibe gehabt haben sollte, der ganze übrige Apparat unverändert zu gebrauchen, indem man bloſs eine neue Scheibe anpaſst. Auſser allen diesen Verbesserungen empfiehlt sich diese neue Maschine auch noch durch sehr zweckmäſsig eingerichtete Reibzeuge von der Art, wie sie van Marum in jenem früheren Schreiben an Landriani beschrieben hat. Sie werden aus einer Holzplatte, die die Rückwand derselben bildet, verfertiget, dieses Holz wird mit einem äuſserst locker gesponnenen dicken und elastisehen Wollengarn (oder auch mit Roſshaaren) belegt, und mit schwedischem Hundsleder oder dünnem Kalbsleder überzogen. Nach einer ersten Einrichtung hatte van Marum die Scheibe an Taffent gerieben, der durch ein mit Sammet überzogenes Holz an das Glas angedrückt wurde; bei gröſseren Maschinen, wie namentlich bei der Teyler'schen, bei welcher er diese Einrichtung anbringen wollte, war aber die Reibung zu stark, und er muſste daher zum Leder wieder seine Zuflucht nehmen, das unter allen Umständen den Vorzug verdient. Ihre Länge beträgt bei der van Marumschen Maschine 9″, wodurch also die Scheibe in einer sehr groſsen Ausdehnung gerieben wird, und wobei zwar das vordere Ende der Reibkissen der Achse sehr nahe kommt, bei der isolirenden Beschaffenheit derselben aber darum doch, wenn negativ elektrisirt wird, kein Ausströmen nach derselben zu befürchten ist. Auſserdem ist dieses vordere Ende mit Scheiben von Gummilack y y bedeckt, welche auf drei Seiten

Fig. 43.

hervorstehen, und verhindern, dafs die Ränder und Ecken dieses Theils im erwähnten Falle keine E. einziehen (nämlich im Sinne der Franklin'schen Theorie). Auch ist ein Paar der Reibzeuge mit einer Kugel J versehen, um zu verhindern, dafs die Enden der hölzernen Stäbe $\alpha\alpha$, an welchen der Wachstaffent befestigt ist, nicht E. einsaugen. Am andern Paare der Reibzeuge ist es dadurch verhindert, dafs die Stäbe β so kurz gemacht werden, dafs die Kugel T das Einsaugen verhindert. Die Breite dieser Reibzeuge beträgt nur 2¼″. Sie werden durch eiserne (oder messingene) Federn e, e festgedrückt, welche durch eine gemeinschaftliche Schraube nach Belieben angezogen werden können. An jedes Reibzeug ist eine Eisen- (oder Messing-)Platte x, x angemacht, welche 3″ lang und 1″ breit ist. Sie ist durch Schrauben auf dem Rücken des Reibzeuges befestigt, und diese Platte ist an das Ende der Feder durch ein gewöhnliches Charnier festgemacht. Jedes Paar der Reibzeuge ist durch eine Schraube auf eine kupferne Platte befestigt, welche die Form eines Schwalbenschwanzes hat, und welche in eine Kugel Z von 6″ im Durchmesser, die auf die Zwinge des gläsernen Trägers A geschraubt ist, pafst. Der Theil der Kugel Z, welcher dem Rande der Scheibe gegenüber steht, ist bei ¼ des Durchmessers abgeschnitten, so dafs der Schnitt fast 5″ im Durchmesser hat. An dieser Stelle ist eine Kupferplatte a a von ¼″ Dicke angelöthet, welche in Form eines Schwalbenschwanzes ausgehöhlt ist, um den Schieber oder die Platte von Kupfer $\alpha\alpha$ aufzunehmen. Die Mitte dieses Schiebers ist viereckt durchbohrt, um eine Schraube c durchzulassen. Die Eisenplatte d d, welche die beiden Federn e e durch Charniere verbindet, wird über diese Schraube gesteckt, und auf dem Schieber $\alpha\alpha$ durch Hülfe einer starken Schraubenmutter f festgehalten. Man bringt die beiden Schieber $\alpha\alpha$ an ihre respectiven Stellen an der Kugel Z von oben her, und da sie unten schmäler sind, als oben, so müssen sie fest halten, wenn sie weit genug herabgedrückt sind. Die dünnen Eisenbleche, womit die Reibzeuge auf ihrem Rücken versehen sind, und welche das Charnier x x berühren, indem sie die ganze Breite des Reibzeugs bedecken, schliefsen sich an die mit Amalgama bestrichene Fläche an. Die Bleche haben hier den doppelten Nutzen, den Uebergang des el. Fluidums gegen das Amalgama zu erleichtern, wenn man *positiv* elektrisirt, und die Communi-

Fig. 41.

Fig. 43.

cation zwischen dem reibenden Amalgama und dem Conductor am vollkommensten zu machen, wenn man sich der *negativen* E. bedient. Die Art der Befestigung und die Form der Flügel von Wachstaffent, die an die Reibkissen angebracht werden, erhellet aus der Zeichnung hinlänglich, und die erforderlichen Eigenschaften des Taffents sind oben angegeben.

Außer dieser Einrichtung der Scheiben-Maschine scheint mir noch diejenige eine nähere Beschreibung zu verdienen, durch welche der Zweck *gleich starker positiver* und *negativer Elektrisirung* eben so vollkommen, aber auf eine viel einfachere Weise erreicht wird, und welche neben diesem Vorzuge noch viel gröſsere Wirkungen durch die sogenannte einfache, nicht verstärkte, E. am ersten Leiter hervorbringt, wenn sie gleich in Rücksicht auf die wirkliche Quantität der durch das Reiben erregten E., und eben darum beim Laden von Flaschen und Batterien nachsteht. Ich theile zu diesem Behuf eine Beschreibung und genaue Abbildung meiner eigenen Maschine mit. Sie ist von einem schon verstorbenen, sehr geschickten, Künstler Bohr in Hamburg gearbeitet, welcher viele empirische Kenntnisse in diesem Fache besaſs, und aus langer Erfahrung die Verhältnisse der Conductoren, ihre Länge, Dicke, ihre Endungen, um das Maximum von Wirkung zu erhalten, sehr richtig zu bestimmen wuſste. Das Eigenthümliche dieser Maschine besteht darin, daſs die Scheibe nur von einem einzigen Paare Reibkissen, die wie an der van Marum'schen Maschine eine horizontale Stellung haben, gerieben wird, und daſs diesem Paare Reibkissen gegenüber sich der Einsauger befindet. Alle Maſse sind nach Pariser Maſs bei jedem Theile genau bemerkt. Die Scheibe von dem besten polirten weiſsen Glase, deren Rand am Umfange sehr genau abgeschliffen ist, worauf bei Scheiben sehr viel ankommt, ist auf eine sehr einfache und doch solide Weise auf ihre hölzerne Axe gefaſst. An dieser ist nämlich auf der einen Seite des Glases, welche nach der Kurbel hingerichtet ist, eine hölzerne Halbkugel, aus einem Stücke gedrehet, angebracht, in der andern Hälfte der Axe dagegen, da wo sie an das Glas angrenzt, ein Schraubengewinde eingeschnitten. Nachdem die Axe durch das Loch der Scheibe, das nicht ausgefüttert zu seyn braucht, durchgesteckt ist, wird eine andere gleich groſse Halbkugel, in welche eine, jener männlichen entsprechende, weibliche Schraube eingeschnitten ist,

Fig. 44 u. 45.

auf dieselbe auf und fest an die Glasscheibe angeschraubt, und um dieses Anschrauben recht dicht machen zu können, werden die nach der Scheibe hingekehrten Flächen der beiden Halbkugeln mit Scheiben von weichem und recht gleichförmigem Schafsleder versehen, die zu diesem Behuf in der Mitte ein Loch haben, um auf die Axe aufgesteckt zu werden. Das feste Anschrauben geschieht vermittelst eines starken zweiarmigen Schraubenziehers, zu dessen Anbringung in jener aufzuschraubenden Halbkugel die nöthigen Löcher angebracht sind [1]. Die hölzerne Axe ist von einem recht trockenen und harten Holze, und um sie noch isolirender zu machen, so wie die Halbkugeln mit einem guten Firniſs dick überzogen. Diese Axe ruht auf beiden Seiten auf zwei hohen massiven Glassäulen, welche in eine starke hölzerne Fassung von Mahagoniholz mit einem eingeschnittenen Lager für die Axe eingelassen sind. Die obere Hälfte dieses Lagers ist durch zwei starke Holzschrauben mit wohl abgerundeten Köpfen fest angeschraubt. Die Kurbel ist eine starke Glasstange, deren Handgriff ebenfalls von wohl polirtem Mahagoniholze gemacht ist, und die am andern Ende in eine groſse ringförmige Fassung von Mahagoniholz, welche über die Achse greift, eingekittet ist. Das Reibzeug besteht

---

1 Muncke vermeidet die Pressung, welche die Scheibe hiernach in ihrer Mitte erleidet, dadurch, daſs er die ledernen Scheiben auf beiden Seiten mit etwas venetianischem Terpentin bestreicht, wodurch sie so fest an das Glas und Holz kleben, daſs es keines Anziehens der Schraube bedarf. Hiermit ist indeſs der Nachtheil verbunden, daſs nach dem unglaublichen Erhärten des Terpentins die Halbkugeln von der Scheibe nicht wieder getrennt werden können. Deswegen pflegt derselbe den kugelförmigen Theil der Axe aus vier Segmenten verfertigen zu lassen, wovon die zwei, welche an der Scheibe anliegen, etwa 0,75 bis 1 Z. dick am Glase auf die angegebene Weise festgeklebt, und dann nach dem Durchstecken der Achse mit den beiden andern durch Pflöcke verbunden werden. Fig. 46 zeigt eine solche Fassung für zwei Scheiben, wobei aa eine massive gläserne Axe ist, h deren messingene Fassung mit einem Theile der gläsernen Kurbel b; die parallelen Scheiben e, é liegen zwischen den aufgeklebten Stücken $\alpha\alpha$; $\alpha'\alpha'$, deren Befestigung auf dem hölzernen Ueberzuge der gläsernen Axe aus der Zeichnung ersichtlich ist. β, β' endlich sind die halbkugelförmigen Schluſsstücke. Man kann sonach beide Scheiben mit den angeklebten Stücken $\alpha\alpha$; $\alpha'\alpha'$ von der Axe nehmen, und durch zwischengelegte Stücke Papier ihre Flächen leicht völlig parallel machen.

Fig. 46.

Fig. 47 u. 48.

aus zwei Stücken, einem hölzernen an welches die das Kissen andrückende Feder befestigt ist, und dem eigentlichen Reibkissen g g, welches davon getrennt werden kann. Das untere Stück ist mit einem Ansatze in die hölzerne Kugel d fest eingelassen, und mit dieser Kugel auf die Glassäule p p, wodurch der Reibungsapparat auf das vollkommenste isolirt ist, festgekittet. Auf der innern Seite dieser in die Kugel eingelassenen Stücke ist eine starke gabelförmige, eiserne, wohl lackirte Feder angebracht, die mit ihrer Krümmung an die dem Rande der Scheibe zugekehrte Fläche der hölzernen Kugel durch eine Schraube befestigt ist, mit ihren beiden Armen längs den Ansätzen jener Holzstücke an ihrer innern Seite hinläuft, mit denen auf beiden Seiten eine aufwärts gehende gabelförmige Feder verbunden ist, die mit ihren weit aus einander stehenden Armen in zwei Höhlungen des eigentlichen Reibkissens eingreift. Zu diesem Behuf besteht dieser Theil des Reibers aus einer starken Holzplatte mit einem Rahmen, über welchem das eigentliche mit gutem Kalbsleder überzogene Kissen gespannt ist, an dessen Rückseite noch kreuzweise federnde Streifen von Eisenblech angebracht sind, an welchen die gleichförmige Feder anliegt. Um diesen für sich beweglichen und abnehmbaren Theil des Reibzeugs an der gabelförmigen Feder festzuhalten, sind die Enden ihrer Arme in Ringe umgebogen, durch welche der messingene Stab p p gesteckt wird, der an seinem Ende mit der elfenbeinernen Kugel r versehen ist, um alles Ausströmen zu verhindern. Um das Reibkissen beliebig stark andrücken zu können, geht auf jeder Seite durch den Rücken des festen Theiles eine hölzerne Schraube, welche auf die aufwärts gehende Feder, da wo sie sich in die Gabel spaltet, aufdrückt, und nach dem Grade, wie sie angezogen wird, diesen mehr oder weniger stark an den gegen die Scheibe gekehrten elastischen Theil des eigentlichen Reibkissens andrückt. Der horizontale Theil der Feder ist an einem Messingstab angeschraubt, der durch die Kugel d hindurchgeht, und an seinem Ende eine hölzerne, wohl lackirte, Kugel e trägt. Alle Ränder der Reibzeuge sind auf das vollkommenste abgerundet, und alles Holzwerk ist wohl überfirnifst.

Der Einsauger c ist eine Gabel von wohl lackirtem nach aufsen abgerundeten Holze, von derselben Länge, wie das Reibkissen, deren innere Fläche ausgehöhlt und mit einigen

Fig. 44.

Spitzen besetzt ist, über welche noch ein ganz dünner Taffen gespannt ist. Diese Spitzen sind in Metallstreifen eingelassen, welche in Verbindung mit einem kupfernen Stifte sind, der durch die Kugel c hindurchgeht, frei in einer Länge von 7″ hervorsteht, und eben so wie der messingene Stab am Reibkissen mit einer hölzernen Kugel b sich endigt. Zwischen den Armen dieser Gabel bewegt sich die Scheibe so nahe durch, dafs sie beinahe von ihr berührt wird. Um den Taffent gehörig zu spannen, ist oben in das Lager der Axe ein wohl lackirter hölzerner Stab eingesteckt, der sich in eine Glassäule endigt, von welcher ein hölzerner Querarm ausgeht, der zwei mit der Scheibe in einer Richtung befindliche, an ihren beiden Enden durch eine Kugel von Elfenbein zusammengehaltene Leisten trägt, zwischen welchen der Taffent geklemmt ist, der mit dem untern Rande der nach den Reibkissen gerichteten Flügel an diese selbst angenäht ist.

Fig. 49. Zu dieser Maschine gehören zwei Conductoren von Messingblech, die auf beinahe 3 Fufs hohen Glassäulen isolirt stehen, von cylinderischer Form, 3′ 1″ lang und 4″ 2‴ im Durchmesser, die sich in zwei Knöpfe von einem etwas gröfseren Durchmesser endigen, in deren Mitte messingene Röhren, die bis zu einer Länge von 1′ 2″ ausgezogen werden können, eingesteckt sind, wovon sich die eine in eine kupferne Kugel von 4″ 3‴, die andere in eine Kugel von 2″ 4‴ endigt. Beim Gebrauche der Maschinen werden diese Conductoren mit ihren kleinen Kugeln in dichte Berührung mit den messingenen Stäben in senkrechter Richtung auf dieselben gebracht, und da unter diesen Umständen auf beiden Seiten sich alles auf gleiche Weise verhält, so werden die Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten der positiven und negativen E. um so entscheidender, und es ist ein ganz besonderer Vortheil dieser Einrichtung, dafs man mit beiden E. zu gleicher Zeit ganz unter denselben Umständen experimentiren kann. Da nur ein Paar Reibzeuge hier angebracht ist, so geschieht die Bewegung dieser Maschine mit grofser Leichtigkeit, auch bei starkem Andrücken der Reibkissen. Der gröfste Vortheil dieser Art der Construction ist jedoch die bei gleichem Durchmesser der Scheiben gröfsere Entfernung des ersten Leiters vom Reibkissen, als bei der Anbringung von zwei Paar Reibkissen, wodurch die Entladung des ersten Leiters nach dem Reibkissen, und umgekehrt (letzteres beim negativen

Elektrisiren) erschwert wird, und die Anhäufung und Intensität der E. in dem Conductor und eben damit die Länge und Stärke des einfachen Funkens, die Gröfse der Feuerbüschel u. s. w. sich viel weiter treiben läfst. Wie aufserordentlich viel die eben beschriebene Maschine zu leisten vermöge, werden wir weiter unten bei der Vergleichung ihrer Wirkungen mit denjenigen von gleich grofsen Scheiben deutlich ersehen. Ohne Zweifel hängt übrigens die aufserordentliche Wirksamkeit derselben, aufser der Güte der Scheibe, von der vollkommenen Isolirung ab, indem alles Metall auf das sorgfältigste vermieden, alle Kugeln am Reibzeuge und dem Einsauger von wohl überlackirtem Holze gemacht, die Glassäulen blofs in Holz eingelassen sind u. d. g. m. Beim Gebrauche dieser Maschine zur Ladung von Batterien wird der grofse Leiter gar nicht gebraucht, sondern die Verbindung unmittelbar mit dem aus der Kugel des gabelförmigen Einsaugers hervorstehenden Messingstabe gemacht, so wie denn auch, wenn man blofs Versuche mit positiver E. anstellen will, der andere grofse Conductor nicht gebraucht, sondern das Reibzeug durch einen starken Draht unmittelbar mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wird.

C. Glas-Glocken-Maschine.

Wolfram hat eine neue Art von Elektrisir-Maschinen in Vorschlag gebracht, die aus ähnlichen Glasglocken bestehen, wie diejenigen, die zu Recipienten bei der Luftpumpe dienen [1]. Eine solche Glocke dreht sich, ihren gewölbten Theil nach unten gekehrt, auf einer senkrecht stehenden Achse, und wird nich nur an der äufsern, sondern auch an der innern Fläche gerieben, wodurch sie sich von der Cylinder-Maschine wesentlich unterscheidet, und gleichsam mit der Scheiben-Maschine Aehnlichkeit bekommt. (Fig. 50.)

Das Gestell A gleicht einem Säulenfufse, ist aber eigentlich ein hölzerner 36 Zoll hoher Kasten. Die Grundfläche desselben hat 23″, der horizontale Durchschnitt des Rumpfes 21″ und die Deckplatte a b 24″ im Quadrat. Die Deckplatte, um sie nach Umständen leicht abnehmen zu können, wird blofs festgehalten durch vier im Innern des Gestells befindliche und in Oesen der Platte eingreifende Hacken, und schliefst überdies mit 4 an ihrer untern Fläche befindlichen Leisten an den Rumpf des Ge- (Fig. 51.)

1 Gilb. Annalen 1823. II. S. 53.

stelles genau an. Der Mechanismus zur Umdrehung der Glocke ist in dem Gestelle angebracht, und zwar an der untern Fläche der Deckplatte. Er besteht in einer Schraube ohne Ende, welche vermittelst der Kurbel cd in Bewegung gesetzt wird. Das Stirnrad hat 21, und das Getriebe acht Schraubengänge, die Glocke macht also etwas mehr als 2,5 Umgänge, während die Kurbel einmal herumgedreht wird, wodurch ein hinlänglich schneller Umlauf entsteht; das Rad ist von Messing und das Getriebe von Stahl, und beide befinden sich in einem Gehäuse, welches aus vier eisernen, fast ¼ Zoll dicken, Platten besteht. Die untere dieser Platten ist 3″ lang und 2″ breit, die obere dagegen einige Zoll länger und breiter. Diese obere Platte wird mit 4 Schraubenmuttern auf die beiden Seitenplatten befestigt, welche 3″ breit und eben so hoch sind, und mit der Bodenplatte aus einem Stücke bestehen können. Damit man die ganze Vorrichtung an das obere Blatt ab des Gestelles gehörig befestigen könne, ist in dieses in der Mitte eine Metallplatte eingelassen, an welche sich das Gehäuse so anschrauben läſst, daſs die 3″ weit hervorragende, oben viereckige, Welle des Getriebes genau senkrecht steht. Jede der beiden Seitenplatten hat einen Einschnitt 1 Zoll tief und 1,5 Zoll breit, in welchen ein 0,5 Zoll dickes vierkantiges, oben und unten mit einem Falz versehenes, Stück Messing eingeschoben wird. Diese beiden in der Mitte durchbohrten Metallstücke sind die Futter für die Welle des Stirnrades. Statt der Schraube ohne Ende läſst sich auch bei dieser Maschine der Mechanismus mit einem Rade und Würtel anbringen, welches bei der starken Reibung der Schraube ohne Ende wohl besser ist. Die Glocke G ist von weiſsem Glase, und muſs wenigstens so weit als sie gerieben wird, möglichst cylindrisch, und an ihrem gewölbten Theile mit einem Halse versehen seyn. Ihr Hals und ein Theil der Wölbung werden in eine wohl abgedrehte Haube eh von festem und gedörrtem Holze eingekittet. Unten hat die Haube eine messingene Fassung f, mittelst welcher die Glocke auf den über das Gestell hervorragenden Theil des Getriebes aufgesetzt wird. Das Reibzeug ist demjenigen, welches van Marum an seiner verbesserten Scheiben-Maschine angebracht hat, in der Hauptsache ähnlich. Die einzelnen Theile desselben sind folgende: 1. Zwei Brettchen 8″ lang und 3″ breit. Die dem Glase zugekehrte Fläche des einen Brettchens ist seiner Breite nach

Fig. 52 u. 53.

etwas convex, die des andern etwas concav. Die Puncte an der Seite l stellen beinerne Knöpfchen von 2‴ Durchmesser vor; eine gleiche Anzahl befindet sich auch an dem andern, auch trägt jedes an der Mitte seines obern Randes ein solches Knöpfchen. 2. Zwei dünne Latten p, v, 8″,5 lang, 2″ breit und 3‴ dick. 3. ein Stück Holz q r 3″ hoch, von der Breite der Latten, und übrigens so gestaltet, wie die Figur zeigt. 4. Ein Stäbchen s t, bei s mit einem Knopfe, bei t mit einem Gewinde und einer Schraubenmutter versehen, alles vom festesten und trockensten Holze. Nahe am Knopfe ist dieses Stäbchen vierkantig, der übrige Theil ist abgedreht, die ganze Länge beträgt 4″. Die beiden Lattchen sind durch Charniere oben mit dem Stücke q r und unten mit den Brettchen n u verbunden, welche für diesen Zweck in der Mitte ihrer Länge einen Absatz haben. Das Stück q r ist von der vordern Seite nach der hintern durchbohrt, um den kleinen Stab s t durchzulassen. Das Lättchen p hat zu gleichem Behuf eine vierkantige, das Lättchen v eine runde Oeffnung. Noch gehören zum Reibzeug 5. die beiden Polster x x. Sie bestehen aus mehreren Lagen eines weichen wollenen Zeuges, und das Ganze ist mit Seidenzeug überzogen. Jedes Polster wird an die vorhin gedachten Knöpfchen angehängt, eben so das mit Amalgama bestrichene Leder oder Seidenzeug. Die leitende Verbindung dieses mit dem Brettchen wird durch ein um den Polster gelegtes Blatt Stanniol, und die jedes Brettchens mit dem Conductor durch einen Metalldraht bewirkt. Nur an den Kissen des äufsern Reibers befindet sich der seidene Lappen.

Zur Verbindung des Reibzeugs mit der Maschine dienen 4 Stücke insgesammt von Messing; nämlich 1. zwei horizontal liegende Röhrchen in dem für die negative E. bestimmten Conductor. 2. Zwei mit Kugeln versehene Stäbe y z, welche sich in jenen Röhrchen leicht hin und her schieben lassen, ohne im mindesten zu schlottern. 3. Die beiden oben und unten mit Kugeln versehenen Stäbchen a a, welche mit den Kugeln 4″ lang sind; 4. endlich zwei Querstäbchen, wovon eins bei b sichtbar ist, dessen Zapfen durch die Kugeln c c hindurchgehen, und sich in die Kugeln d d endigen, in welchen sie sich leicht umdrehen lassen. Das andere Querstäbchen ist durch das Stück q r, bei e gesteckt, seine aus demselben hervorragende Zapfen gehen durch die Kugeln ff, und haben, so weit sie aus diesen

hervorragen, Gewinde, an welchen die kleinen Kugeln g g vorgeschraubt werden.

Die beschriebene Einrichtung des Reibzeugs gewährt den Vortheil, es immer an die rechte Stelle bringen zu können, die Glocke mag eng oder weit seyn, dem Schwanken der Glocke nachzugeben, ohne dafs die Stärke des Reibers im mindesten geändert wird, durch Anziehen oder Nachlassen der Schraubenmutter bei t eine Vergröfserung oder Verminderung des Druckes nach Belieben zuzulassen, und bei nicht ganz cylindrischer Krümmung der Glocke den an dem einen Reibkissen zu geringen Druck durch den stärkeren des andern gleichsam zu ersetzen.

Die beiden Hauptleiter der Maschine sind hohle messingene Cylinder 3″ im Durchmesser und 16″ lang. An ihren Enden haben sie Kugeln von 4″ Durchmesser, mit welchen sie auf massiven überfirnifsten und 27″ hohen Glassäulen ruhen. Unten ist jede dieser Glassäulen in ein Fufsgesimse gekittet, welches sich an einem viereckigen, auf dem Deckblatte des Gestells befestigten Untersatz aufschrauben läfst. Oben haben die Säulen keine Fassung, und die in den Kugeln befindlichen, unten offenen, Röhren werden unmittelbar auf die angeschliffenen Zapfen der Glasstäbe gesetzt. Die unter der Kugel an jeder Säule befindliche Hülse ist von Holz.

Zur Aufnahme der E. von der Glocke dient die in der Zeichnung angegebene Vorrichtung am vordern Leiter. Es ist r eine messingene Röhre 1″ weit und 7½″ lang, die Kugeln k, l haben 1,5 Zoll im Durchmesser. Von einer zur andern ist ein Clavierdraht gespannt, welcher die Stelle der einsaugenden Spitzen vertritt, und vor diesen Vorzüge hat. Ueber der Kugel k befindet sich die engere 3,5 Zoll lange Röhre mit der durchbohrten Kugel m, welche sich längs des Stäbchens n, an dessen einem Ende die Kugel w befindlich ist, verschieben und mittelst der Schraube o feststellen läfst. Quer durch die Mitte des Hauptleiters geht in horizontaler Richtung ein Röhrchen, welches zu beiden Seiten etwas hervorsteht; an der vordern Seite wird die Kugel J, mittelst welcher sich ein Quadrantenelektrometer und manche zu den Versuchen nöthige Vorrichtungen leicht an den Leiter befestigen lassen, vorgeschraubt, an der, der Glocke zugewandten, Seite hat das Röhrchen einen wohl abgerundeten Ring mit einer Schraube, mittelst welcher

Fig. 54.

Fig. 51.

Fig. 54.

das in das Röhrchen passende Stäbchen n, nachdem man es so weit hineingeschoben, daſs der Clavierdraht von der umlaufenden Glocke nicht mehr berührt wird, festgehalten werden kann. Von einem doppelten Einsauger würde nur dann Gebrauch zu machen seyn, wenn die Schwankung der Glocke beträchtlich wäre. In der Wirkung der Maschine fand kein Unterschied statt, ob nur der einfache Einsauger an der äuſsern oder innern Fläche der Glocken, oder der doppelte angebracht war. Fig. 55.

Auf der Deckplatte des Gestells ist unter der Kugel l ein gewöhnlicher Funkenmesser angebracht, dessen Kugel n sich in verschiedene Entfernungen bringen läſst. Eine kurze Würdigung der etwaigen Vorzüge dieser Art von Maschinen vor den beiden bisher abgehandelten, wird weiter unten ihren Platz finden. Fig. 51.

II. Elektrisirmaschinen aus andern Materien als Glas.

Es ist nach dem bisher Angegebenen und nach dem im Artikel *Elektricität* über die Erregung derselben im Allgemeinen Vorgetragenen leicht einzusehen, daſs sich aus noch vielen andern sogenannten eigenthümlich elektrischen Substanzen wirksame Elektrisirmaschinen verfertigen lassen, wenn sie nur in eine passende Form gebracht werden können, um ein schnelles fortgesetztes Reiben zuzulassen. Man sieht auch leicht ein, daſs man solche Maschinen durch schickliche Wahl des idioelektrischen Körpers und des Reibzeugs unmittelbar für negative E. einrichten kann. Und wirklich sind auch mehrere solche nicht unwirksame Maschinen von verschiedenen Physikern ausgeführt.

Volta gab in einer Dissertation[1] Nachricht von einer Elektrisirmaschine, die aus einer bloſsen Scheibe von wohlausgetrockneter Pappe verfertigt war, aus welcher er schöne groſse Funken erhielt, eine Leidner Flasche ziemlich stark lud u. s. w. Auch Dr. Ingenhouss versuchte schon 1772 den, wenn sie groſs sind, kostbaren und doch leicht zerbrechlichen, Glasscheiben runde mit Copal- oder Bernstein-Firniſs getränkte

1 De corporibus eteroelectricis quae fiunt idioelectrica experimenta atque observationes. 1771.

Scheiben von Pappe unterzuschieben[1]. Er drehte drei solcher Pappdeckel an einem Gestell, in welchem sie sich an zwischenliegenden, mit Flanell und einem Hasenbalge überzogenen, Brettern rieben und erhielt dadurch eine starke E. mit 5 Zoll langen Funken, die sich sehr geschwinde folgten. Aber in einem kalten Zimmer zog die Pappe Feuchtigkeit an und verlor alle Kraft. VAN MARUM verfiel auf den Gedanken[2] eine Scheibe von Gummilack, deren unterer Theil in ein Gefäfs von Quecksilber reichte, und sich also beim Umdrehen an Quecksilber rieb, den Glasscheiben zu substituiren, die aber bei feuchter Witterung unwirksam sind, wenn sie nicht vorher stark erhitzt werden, wobei die Gefahr des Springens eintritt. Da aber die Verfertigung von dergleichen Scheiben beschwerlich und die Geräthschaft kostbar ist, so hat dieser Vorschlag nicht den erwarteten Beifall gefunden. PICKEL schlug zu Scheiben-Maschinen für negative E. im Backofen wohl ausgedörrtes Holz vor[3] und machte selbst glücklichen Gebrauch davon. Auch VOLTA beschreibt eine solche Scheiben-Maschine von gedörrtem Holze, die von bedeutender Wirkung war. KOHLREIF[4] brachte an seiner Scheiben-Maschine hölzerne Scheiben an, wenn er — E dadurch erhalten wollte. Sie werden aus solchem Holz, das wenig Harz hat, verfertigt. Die Scheibe wird geglättet, und bei öfterem Umkehren über einem Kohlenfeuer stark geröstet, aber nicht gebrannt. Die schicklichsten Reiber hierzu sind kurzhaariges Rauchwerk z. B. gut gegerbte Maulwurfs- oder Ratzenfelle. Das Krümmen der Scheiben beim Rösten ist kaum zu vermeiden, man mufs sie aber gleich nach dem Rösten zwischen weiches Papier legen, und mit einem Gewichte beschweren. Sie sind auch biegsam und bequemen sich beim Umdrehen nach dem Kissen. Noch besser eignen sich gewisse vorzüglich aus der Classe von Seiden -, Wollen - und Baumwollenzeugen genommene Materien zu Elektrisir - Maschinen von cylindrischer Form. Eine der wohlfeilsten Maschinen dieser Art, und welche dennoch die gewöhnlichen Elektrisir-

---

1 Verm. Schriften von Molitor. Wien 1784. gr. 8. S. 18 ff.

2 Abhandlung über das Elektrisiren aus dem Holländ. übers. von Möller, Gotha 1777. 8.

3 Experimenta physico-medica de electricitate. Wirceb. 1778. 8.

4 S. Lichtenb. Magazin Bd. I. St. 3. S. 103.

Maschinen an Stärke zuweilen übertrifft, weil man sie durch Erwärmen so leicht gegen die schädlichen Wirkungen der Feuchtigkeit schützen kann, ist die von LICHTENBERG[1] im Jahre 1781 angegebene. Das vorzüglichste Stück an derselben, wodurch sie sich von andern unterscheidet, ist die mit schwarzem glatten wollenen Zeuge überspannte Trommel a a a a. (Man kann sie auch mit Seidenzeug, Glanzleinwand oder Papier überspannen. Zeug und Leinwand werden bloſs mit Stiften befestiget, um sie im Nothfall von neuem zu spannen). Die an beiden Seiten des Gerippes befindlichen hölzernen Scheiben m m sind an den innern Seiten mit Streben versehen, damit sie sich nicht einwärts beugen, und der Spannnng des Zeuges nachtheilig werden können. Die beiden Axen-Enden der Trommel b b gehen, wenn das Gestell aus einander genommen werden kann, durch dessen Seiten. Ist das Gestell fest zusammengefügt, so kann sich die Trommel auch hinter vorgeschraubten eisernen Platten bewegen. Der Reiber d d ist ein mit langhaarigem Katzenfelle überzogenes Kissen, das an eine starke Glasröhre, oder in deren Ermangelung an einem Stab von gebackenem und mit Firniſs überzogenem Holz befestigt wird; die Röhre oder der Stab geht durch den obern Theil des Gestelles, wo eine Schraube f befindlich ist, sie in der gehörigen Stellung festzuhalten. Von dem Kissen geht mitten durch die Röhre oder den Stab ein starker metallener Draht bis zu der oben befindlichen metallenen Kugel g. Diese Zurichtung dient dazu, das Kissen zu isoliren, um dadurch die entgegengesetzte E. zu erlangen. An der vordern Seite des Kissens gegen den Zuleiter hin ist ein Streifen Wachstaffent h h befestiget, der über einen Theil der Trommel hinreicht. In einiger Entfernung unter der Trommel ist auf dem Gestelle ein Brett, auf welches eine Kohlenpfanne i gestellt werden kann, um der Trommel im Sommer die nöthige Wärme und Trockenheit zu verschaffen; im Winter ist es schon hinreichend, die Maschine in die Nähe eines Ofens oder Kamins zu bringen. Die Kette k am Halse der Kugel g, dient sowohl die el. Materie abzuleiten, da das Kissen isolirt ist, oder wenn sie mit einem isolirten Conductor verbunden wird, die entgegengesetzte E. zu erhalten. Der metallene Conductor ist mit dem Zuleiter o verbunden, und steht auf einer starken Glassäule p.

Fig. 56 u. 57.

Fig. 58.

1 Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. Bd. I. St. 1, S. 83.

Die Kette ll ist nöthig, die E. weiter zu führen, oder wenn ein Conductor mit dem Kissen verbunden ist, und man die positive E. desselben in jenen anhäufen will, die negative E. abzuleiten. Donndorf[1] beschreibt diese Maschine unter dem Namen des *Lichtenberg'schen Luftelektrophors* (der ganz unpassend auf dieselbe ist) in einer etwas veränderten Gestalt, die ihr der bekannte Mechanicus Stegmann (zuletzt Professor in Marburg) gegeben hatte, wodurch sie aber nur vertheuert wurde. Walkiers de St. Amand hat 1784 eine sehr wirksame, zu dieser Classe gehörige Elektrisirmaschine angegeben und ausführen lassen[2]. Sie besteht aus zwei hölzernen Cylindern von 2 Fuſs Durchmesser und 6 Fuſs Länge, die in zwei 7—8 Fuſs von einander entfernten Gestellen mit Kurbeln umgetrieben werden. Ueber die beiden Cylinder selbst ist ein gefirniſster Taffent, der an beiden Enden zusammengenäht ist, gezogen und mäſsig gespannt, so daſs die Maschine fast wie ein Seidenweberstuhl oder wie eine horizontal gelegte Garnwinde aussieht. Wenn man die Cylinder mit den Kurbeln dreht, so wird der hinlänglich stark gespannte Taffent mit gedreht, und bewegt sich nach und nach über alle Puncte der Cylinder. Die Breite des Taffents ist 5 Fuſs. Das Reibzeug besteht aus 7 Fuſs langen und 2″ im Durchmesser haltenden Cylindern, die mit Katzenbalg überzogen sind. Sie werden durch Schrauben an den Taffent gedrückt, und berühren ihn immer nur in einer Linie, Mitten durch den leeren Zwischenraum beider Taffentflächen geht der Conductor, der 6 bis 7″ im Durchmesser hat, über die Ränder des Taffents an beiden Seiten beträchtlich hervorragt, und in seidenen Schnüren vom Gestelle herabhängt. An den Stellen zwischen den Taffentflächen hat er Spitzen. So wird die erregte (negative) E. nicht von benachbarten Körpern geraubt, sondern häuft sich ganz in dem Conductor an. Die Arbeiter, welche drehen, stehen auf dem Gestelle und geben ihm durch ihr Gewicht einen festern Stand. Ein Jahr später als Walkiers seine groſse Maschine ausgeführt hatte, verfertigte Rouland eine von derselben Art, nur in etwas kleinerem Maſsstabe und mit einigen Abänderungen[3].

---

1 Lehre von der E. Th. I. S. 26.

2 S. Lichtenb. Magazin Bd. III. St. 1. S. 118.

3 Description des machines électriques à taffétas par M. Rouland. Amsterdam 1785. G. XXIII. 309.

In den Ständern CDEF auf einem Fufsgestelle senkrecht aufgerichtet, sind zu oberst Löcher geschnitten, welche die Pfannen für die nicht völlig einen Zoll dicken buchsbaumenen Axen zweier leichter, von Brettern zusammengeleimter, und mit Serge überzogener, Cylinder enthalten. Diese Cylinder sind 27″ lang, haben 8″ im Durchmesser, und ihre beiden Endplatten ragen einen halben Zoll über sie hervor. Nur eine der Achsen ist mit einer 6 Zoll langen messingenen Kurbel versehen. Der gefirnifste Taffent KNL (von der Art, deren man sich zu den Aërostaten bedient) geht um beide Cylinder, ist an den Enden zusammengenäht und läfst sich durch Zurückschieben des einen Cylinders und seines Gestells so straff anziehen, dafs beide Cylinder umlaufen, wenn der eine vermittelst der Kurbel gedreht wird. Die Länge des Seidenzeugs beträgt 11 Fufs oder 132″, die Breite 26″, also einen Zoll weniger, als die Länge der hölzernen Cylinder. Die Reiber sind wie an der Walkier'schen Maschine, durch seidene Fäden an die Ränder der Cylinder befestigt und durch Ketten v, v mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt. Zwei Stücke gefirnifsten Wachstaffents p, q gehen von den Reibzeugen bis zum Leiter, nach Art des Wachstaffents bei den Glasmaschinen. Der erste Leiter S besteht aus Messingblech von gewöhnlicher cylindrischer Form, ist 3″ dick und 36″ lang, schwebt an seidenen Schnüren, welche an den Rändern der Cylinder befestiget sind, zwischen den beiden Ebenen des Taffents, und hat oben und unten nach seiner ganzen Länge ein senkrecht stehendes Blech y, y, welches als sogenannter Einsauger dient, und nur $\frac{1}{2}$″ vom Seidenzeuge entfernt bleibt. Bohnenberger hat in der 2ten und 3ten Fortsetzung seiner Beschreibung einiger Elektrisirmaschinen und elektrischer Versuche gleichfalls Einrichtungen zur negativen Elektrisirung angegeben, die mit denen von Walkiers und Lichtenberg im Wesentlichen übereinkommen. Eine solche Trommel-Maschine[1] hat ein etwas einfacheres Gestell, wo an der Trommel nicht blofs äufserlich oben und unten, sondern auch inwendig Reiber von Katzenfell angebracht sind, damit das aufgespannte Zeug auf beiden Seiten gerieben, und zugleich das Runzeln desselben verhütet werde. Dem gefirnifsten Taffent gibt er den Vorzug vor dem Wollenrasch; Tamis oder andere geglättete Wollenzeuge

Fig. 59.

1 3te Fortsetzung.

räth er nicht zu nehmen, da sie ihm zufolge nur schwache E. geben. Zum bequemen Gebrauch im Kleinen hat Ingenhouss[1] eine von ihm im Jahre 1780 erfundene Maschine beschrieben, die wenig Beschädigungen ausgesetzt ist und an der Wand aufgehangen werden kann. Sie besteht aus einem starken 8—9" breiten und 2½—3 Schuh langen Stück Seidenzeug, welches überfirnifst, am besten mit aufgelösetem Siegellack überzogen ist, und zwischen einer doppelten Kupferplatte mit Hirschhaut oder Katzenbalg überzogen gerieben wird. Diese Kupferplatte ist durch Glasstangen mit zwei messingenen Stäben verbunden, die einen Spalt zwischen sich lassen, durch den das Seidenzeug gleich nach der Reibung durchgeht, daher diese Stangen die E. annehmen und die Dienste eines ersten Leiters thun. Zur Anspannung befinden sich am obern und untern Ende des Seidenzeugs Leisten mit hölzernen Kugeln, durch die seidene Bänder gezogen werden, woran man das Ganze oben an einen Nagel hängen, und unten mit der Hand spannen kann. Mit der andern Hand wird eine cylindrisch gestaltete Leidner Flasche so angesetzt, dafs ihre äufsere Belegung die reibenden Platten, und ihre obere mit der innern Seite verbundene Haube die zum Leiter dienenden Stangen vermittelst angebrachter Stifte festhält Mit dieser Flasche fährt man nun auf und ab, und nimmt zugleich das Reibzeug und den Leiter mit sich. Dadurch wird die E. erregt und zugleich die Flasche geladen, die der Erfinder übrigens so eingerichtet hat, dafs man in ihr Alles zum Lichtanzünden durch den el. Entladungsschlag nöthige aufbewahren kann.

Durch diese Maschine ist Mundt[2] auf eine ähnliche, jedoch schon als eigentliche Elektrisirmaschine zu betrachtende, Einrichtung geleitet, die bei dem geringen Preise (von höchstens 4 Thalern), um den sie angeschafft werden kann, dem geringen Raume, den sie einnimmt, und dem, was sie dennoch leistet, immerhin einige Beobachtung verdient und deren Beschreibung ich hier aufnehmen würde, wenn sie nicht mehr Raum erforderte, als viele Leser billigen dürften.

---

1 Vermischte Schriften 1784. Th. I. S. 145 ff.

2 Gren's Journal Bd. VII. S. 319.

III. Wirkungen der Elektrisirmaschinen und Vergleichung der verschiedenen Arten derselben in Rücksicht auf ihre Wirksamkeit.

Alle el. Erscheinungen, welche durch das Reiben eigenthümlich el. Körper hervorgebracht werden, zeigen sich durch Hülfe der Elektrisirmaschine im verstärkten Grade, und können durch die zweckmäſsige Einrichtung und Vergröſserung derselben auſserordentlich gesteigert werden. Jener eigenthümliche phosphorische Geruch verbreitet sich sehr bald, so wieman eine kräftige Maschine in Bewegung setzt, und es brechen nach allen Seiten ohne Unterlaſs knisternde Funken in ganzen Büscheln aus denjenigen Theilen des Cylinders, oder der Scheibe, die nicht mit dem Wachstaffent bedeckt sind, hervor. Wird der erste Leiter mit der Maschine in Verbindung gesetzt, so kann man sehr starke Funken aus ihm ziehen. Diese Funken variiren in Rücksicht auf Geschwindigkeit, mit der sie sich einander folgen, auf Länge, Dicke, Farbe und sonstiges Ansehen auſserordentlich nach Verschiedenheit der Gröſse und Bauart der Maschine, des Conductors, des Körpers, der den Funken auffängt, des Mediums, durch welchen der Funken schlägt u. s. w. wovon ich hier bloſs dasjenige mittheilen werde, was sich auf den Bau der Elektrisirmaschine bezieht[1].

Es kommt auſser der Gröſse und Beschaffenheit der Elektrisirmaschine an und für sich vorzüglich die *Beschaffenheit des zweiten Leiters*, an welchem die E. angehäuft wird, und des Körpers, auf welchen der Funken überschlägt, in Betrachtung. So lange die E. nicht in irgend einem Puncte eine Dichtigkeit angenommen hat, um den Widerstand der Luft zu überwinden, wird der allmälige Verlust der E. vom Leiter aus, an welchem sie sich anhäuft, ein constanter seyn, wenn die auf dem zweiten, an den ersten gebrachten, Leiter verbreitete E. von derselben Intensität ist, welches auch die Gestalt seiner Oberfläche sey. Aber die *explosive Distanz*, auf welche diese zwei Leiter ihre Funken schlagen, wird nach Verschiedenheit ihrer Form sehr verschieden seyn, denn die Leichtigkeit der Explosion hängt von dem Drucke ab, welchen die E. auf die umgebende

---

1 Vergl. *Funken.*

Luft ausübt, und durch welchen sie dieselbe auf ihrem Wege entfernt. Dieser Druck ist proportional dem Quadrate der Dichtigkeit der el. Schicht; man muſs also solche Leiter nehmen, welche, wenn sie in Berührung mit dem ersten Leiter sind, sich mit einer el. Schicht bedecken, deren Dicke die gröſstmögliche sey, verglichen mit der Dicke der el. Schicht dieses ersten Leiters; und die Theorie übereinstimmend mit der Erfahrung lehrt, daſs Cylinder von groſser Länge und kleinem Durchmesser vorzüglich geschickt dazu sind. Darüber hat Coulomb sehr genaue elektrometrische Untersuchungen angestellt [1].

An einem isolirten Cylinder, der sich in Halbkugeln endigt, und auf welchem sich die E. ohne sonstigen äuſsern Einfluſs frei ins Gleichgewicht setzen kann, verhält sich nach Coulomb's genauen elektrometrischen Untersuchungen die Dicke der el. Schicht an den Enden zu derjenigen in der Mitte wie 2,30 : 1. Es muſs aber, wenn ein solcher Cylinder mit einem elektrisirten Leiter in Verbindung gesetzt wird, diese Dicke noch mehr an dem freien Ende zunehmen, weil die Repulsivkraft der E. des hinzugekommenen Leiters die E. noch mehr nach diesem freien Ende treibt. Da ferner an einem Cylinder, dessen Durchmesser nur 1‴ beträgt, bei der Berührung einer elektrisirten Kugel von 4″ die el. Dichtigkeit im Durchschnitte 9mal so groſs ist, als die der Kugel, so ist sie am freien Ende wenigstens $9 \times 2{,}3$ so groſs, und da die Pressionen gegen die Luft sich wie die Quadrate der Dichtigkeit verhalten, so begreift man auch, wie es aus solchen Cylindern so leicht zum Ausströmen kommt. Die cylindrischen Leiter geben daher stets die längsten Funken an ihren Enden, die kürzesten in ihrer Mitte, und die Länge der Funken wird noch sehr vergröſsert, wenn in den gröſseren Cylinder ein recht dünner, nicht über zwei Linien dicker, Draht hineingesteckt wird, der sich mit einer nicht zu kleinen Kugel endigt. Diese Einrichtung ist bei den Conductoren meiner Maschine, und derjenigen der holländischen Physiker befolgt, und bei den kugelförmigen Conductoren, wie sie an der van Marum'schen verbesserten Scheibenmaschine angebracht sind, wird eine gröſsere Länge des Funkens nur dadurch erhalten, daſs in die Mitte der von der Scheibe abgewandten Hälfte der Kugel ein dünner cylindrischer

1 Biot Traité de Physique etc. II. 315 ff.

Draht gesteckt ist, der sich in eine kleinere Kugel endigt. Außer diesem Momente der Gestalt des ersten und zweiten Leiters kommt es noch in Ansehung der durch eine Elektrisirmaschine hervorzubringenden Wirkungen und besonders der Stärke und Länge des Funkens vorzüglich auf die Größe und die von dieser Größe so wie zugleich von der Gestalt des Leiters abhängige Capacität desselben für die E. an. Es versteht sich nämlich von selbst, daß bei einer ausgedehnteren Größe des Leiters ein größerer Vorrath von E. angehäuft werden kann, der sich dann auch in verhältnißmäßig dickern und stärkern Funken entladen läßt, welche dann wiederum im Verhältniß der größeren Menge von E., die in ihnen hervorbricht, stärkere Wirkungen hervorbringen werden. Indeß läßt sich durch die Vergrößerung eines mit dem ersten Leiter verbundenen zweiten Leiters die Wirkung der Elektrisirmaschine nicht ins Unbestimmte verstärken, da mit der Ausdehnung des Leiters sich auch die Berührungspuncte mit der Luft vermehren, womit eine verhältnißmäßig wachsende allmälige Zerstreuung der E. verknüpft ist, abgesehen davon, daß auf einer sehr ausgedehnten Oberfläche sich leicht da und dort Spitzen und dergleichen Unebenheiten einfinden können, durch welche eine solche Zerstreuung der E. noch besonders begünstigt wird. Jede Elektrisirmaschine wird also nur ein gewisses Maximum der Vergrößerung ihres Leiters zulassen, über welches hinaus die Wirkung wieder abnimmt, und dieses Maximum wird um so weiter hinausfallen, je wirksamer die Elektrisirmaschine an und für sich ist. So bemerkt z. B. Grimm, daß als an den bereits schon eine beträchtliche Ausdehnung habenden Conductor einer übrigens 5 Fuß im Durchmesser haltenden Scheibenmaschine noch ein messingener Conductor gesetzt wurde, der einen rheinl. Fuß dick und 10 Fuß 2 Zoll lang war, die Maschine weniger als zuvor leistete[1]. Mit der Ausdehnung des Leiters werden dann auch die Funken gebenden Kugeln ihrer Größe nach im Verhältnisse stehen müssen, worüber für jede Maschine nur Versuche entscheiden können.

Bei der großen Teyler'schen Maschine ist die Funken gebende Kugel am Ende des großen, aus drei Hauptstücken bestehenden, cylindrischen Conductors von 23½ Quadratfuß Ober-

1 Gilb. Ann. IV. 361.

fläche nur 4zöllig, und der auffangende Leiter ist ein 22″ langer und 8″ im Durchmesser haltender Cylinder, der in 12zöllige Kugeln endigt. Bei trockener Witterung schlägt der Leiter gegen die auffangende Kugel 24″ lange Funken von der Dicke eines Federkiels 300mal in einer Minute, die sich schlängeln, und an den Krümmungen 6″ bis 8″ lange Strahlen schiefsen lassen. Ueber die Fläche eines schlechten Leiters geführt, wird der Funken 6 Fuſs lang. Gegen äuſserst scharfe stählerne Spitzen entstehen noch Funken von ½″. Die Lichtbüschel am Ende des ersten Leiters verbreiten sich ringsum auf 16″. Ein isolirter 207 Fuſs langer Draht am Leiter ward in seiner ganzen Länge bei jedem Funken erleuchtet, und schoſs überall Lichtbüschel von 1″ aus. Der negative Funken dieser Maschine steht indeſs wegen der unvollkommenen Isolirung der Reibkissen in keinem rechten Verhältnisse mit ihrer sonstigen Wirksamkeit, da er nur 10 bis höchstens 11 Zoll beträgt. Schieſspulver, Zunder, Zündschwamm, Terpentin- und Olivenöl wurden entzündet und Streifen Goldblättchen 1,5 Lin. breit und 20″ lang geschmolzen. Ein 6 Fuſs langer leinener Faden 38 Fuſs weit vom Conductor wurde unten 6 Zoll weit von der senkrechten Lage abgezogen. Die Luft ward so stark elektrisirt, daſs die Kugeln am Cavallo'schen Elektrometer 40 Fuſs weit von der Maschine schon um ¼ aus einander gingen.

Die von Cuthbertson für die holländischen Physiker Deimann und Paets v. Troostwyk verfertigte, oben beschriebene, Maschine stand wenigstens nach einigen dieser Proben der Stärke der groſsen Teyler'schen nicht sehr viel nach, ungeachtet die beiden Scheiben mehr als noch einmal so klein waren, nämlich 31 englische Zolle im Durchmesser hielten, wovon der Grund ohne Zweifel in der vollkommeneren Isolirung aller Theile dieser Maschine lag. Um die stärksten Funken zu erhalten, wurde an die letzte Kugel, womit der groſse Leiter sich endigte, in der Entfernung von 0,5 Zoll durch einen Stift eine kleinere Kugel von 2″ Durchmesser aufgesteckt. Die Funkenlänge betrug dann gewöhnlich 11,5 Zoll, wenn der Funken mit einer zweiten Kugel von 5″ Durchmesser hervorgelockt wurde, bisweilen war er einen halben Zoll kürzer, oft auch einen Zoll länger. Er bewegte sich im Zickzack, und war, die Gröſse ausgenommen, dem der Teyler'schen Maschine ähnlich. Seine Dicke betrug ⅛ Zoll, und es schossen aus ihm häufig

Seitenstrahlen von 2 bis 4" Länge. In Rücksicht auf diese Wirkungen ist also diese Maschine ungefähr halb so stark, als die Teyler'sche, ungeachtet ihre Oberfläche mehr als 4mal so klein ist. Der negative Funke hatte die gröfste Länge, wenn er aus einer Kugel von 1/4 Zoll auf eine zwölfzöllige überging. Seine Länge betrug dann 8,5, bis höchstens 9 Zoll. In dieser Rücksicht leistete also diese Maschine verhältnifsmäfsig weit mehr als die Teyler'sche, was von der viel vollkommeneren Isolirung ihrer Reibzeuge abhing. Auf einem überfirnifsten und mit Messingfeile bestreuten Brette konnte man die Funkenweite bis auf 12 Fufs und wohl noch weiter treiben, wenn das Brett länger genommen wurde. Aufser dem Hauptstrahle selbst, der längs den Feilspähnen von der funkenschlagenden Kugel zu der gröfsern Auffangkugel in einer Menge Krümmungen überging, fuhr noch eine grofse Anzahl anderer Strahlen aus jenen aus, und diese theilten sich wieder in eine Menge kleinerer, so dafs die ganze bestreute Fläche mit Strahlen bedeckt wurde, die im Dunkeln eine artige Mischung von gelbem und grünem Lichte darstellen. Bei der negativen E. betrug die Funkenweite auf diese Art nur 6 Fufs. Auf sehr feine Stahlspitzen, die 2" über die Kugel hervorstanden, schlug der Funken aus dem positiven Leiter 1/8 Zoll, gegen die an der Endkugel des negativen Leiters selbst angebrachte Spitze aber von der genäherten Kugel aus einer Entfernung von 1/8". Die Feuerstrahlen aus dem positiven Leiter waren 4,5 Zoll lang, wenn die Spitze 3 Zoll, 7,5 Zoll lang, wenn die Spitze 2 Zoll über die Kugel am Leiter hervorstand. Dem negativen Conductor wurde die Spitze gegenüber gestellt, und die Strahlen waren in allen Fällen 6,5 Zoll lang, die Spitze mochte 2 oder 3 Zoll über ihre Kugel hervorragen. Lichtbüschel aus Kugeln entstanden durch positive und negative E., bei jener, wenn man eine zweizöllige Kugel 1/4 Zoll weit von der grofsen Kugel des Conductors ansteckte, bei dieser, wenn man einer 12zölligen Kugel eine von 1/4 Zoll gegenüber hielt, die mit dem ableitenden Drahte in Verbindung stand. Die positiven Büschel waren 9—10 Zoll, die negativen nur 2 Zoll lang und breit, und beide unterschieden sich von einander nur durch die Gröfse. Die Erschütterung welche der positive Funken gab, wann er mit einer grofsen Kugel in der Hand ausgezogen, und zugleich der leitende Draht mit den Füfsen berührt wurde, war so heftig, dafs genaue Beobachter sie eben so grofs schätzten, als

diejenige, die man von einer bei einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine geladenen Leidner Flasche von einem Quadratfuſs Belegung erhält. Die Menge der E., welche der Conductor auf dem Maximum von Ladung unter den günstigsten Umständen in einem einfachen Funken mittheilte, wurde so groſs gefunden, als diejenige, welche erfordert wird, um eine Flasche von einem Quadratfuſs Belegung bis auf den vierten Theil der stärksten Ladung, die sie noch annehmen kann, zu laden. Daſs indeſs diese Bestimmungsart nur einen unsichern Maſsstab abgeben kann, leuchtet ein, wenn man bedenkt, daſs die Stärke der Ladung einer Flasche nicht bloſs von der Gröſse ihrer Belegung, sondern auch von der Dicke des Glases, der Gröſse des unbelegten Randes und andern Zufälligkeiten mit abhängt. Indeſs giebt die Menge der Umdrehungen, welche bei verschiedenen Elektrisirmaschinen erforderlich sind, um dieselbe Flasche oder Batterie von bestimmter Gröſse der Belegung auf denselben Grad zu laden, doch immer den sichersten Maſsstab zur Vergleichung der Wirksamkeit verschiedener Elektrisirmaschinen, oder der Menge der el. Materie, welche sich durch ihre Reibung entwickelt, da die Länge, Dicke und Wirksamkeit des einfachen Funkens, so wie die Länge und Breite der Feuerbüschel von andern Umständen mit abhängen, nämlich von der Gröſse und Gestalt des Conductors, der Funken gebenden Kugel, der auffangenden Kugel u. d. g. Nach jenem Maſsstabe verglich namentlich van Marum die Wirksamkeit seiner neu eingerichteten Elektrisirmaschine mit derjenigen der groſsen Teyler'schen[1] und constatirte dadurch den auſserordentlichen Vorzug der neuen Einrichtung vor der ältern. Eine Batterie von 90 Flaschen, deren jede über einen Quadratfuſs belegter Fläche enthielt, wurde durch 150 Umdrehungen der verbesserten Scheibenmaschine mit einer einfachen Scheibe von 31″ im höchsten Grade geladen, so daſs sie sich von selbst entlud. Die groſse Teyler'sche Maschine mit zwei Scheiben von 65 engl. Zollen, lud bei ihrer alten Einrichtung, ehe van Marum sie verbessert hatte, dieselbe Batterie selbst unter den vortheilhaftesten Umständen nie mit weniger als 66 Umdrehungen. Die kleine Scheibe leistete folglich $\frac{4}{9}$ und bei günstigen Umständen gewiſs $\frac{1}{2}$ so viel als die groſse Teyler'sche Maschine bei ihrer ersten

---

1 Vergl. Gilb. Annalen XXIII. 304.

Einrichtung. Da die Kissen der kleinen Scheibenmaschine 9'', die der grofsen 15½'' lang sind, so beträgt die Glasfläche, welche jedes Kissen bei einmaliger Umdrehung reibt, bei der kleinen 622, bei der grofsen 2410,1 Quadratzoll, die 4 Kissen jener reiben folglich bei jeder Umdrehung 2488, die acht Kissen dieser 19283 Quadratzoll. Da nun jene 150, diese 66 Umdrehungen bedurfte, um dieselbe Batterie bis zum Ueberspringen zu laden, und die Intensität der el. Kraft zweier Maschinen der Zahl der Umdrehungen und der Gröfse der geriebenen Fläche bei Bewirkung desselben Effects umgekehrt proportional ist, so verhielt sich die Intensität der el. Kraft der kleinen Maschine zu derjenigen der Teyler'schen nach der alten Einrichtung, wie $66 \times 19283 : 150 \times 2488$ oder ungefähr wie $3,5 : 1$. Diese Bestimmung der Intensität der Erregung kann auch aus dem Verhältnisse der geriebenen und der geladenen Glasfläche abgeleitet werden, indem man aus der Zahl der Umdrehungen, der Gröfse der geriebenen Glasfläche, und der Gröfse der Batterie, die dadurch zum Maximum geladen worden ist, die Menge von geriebenen Quadratzollen oder Quadratschuhen berechnet, die erfordert werden, um einen Quadratzoll oder Quadratfufs belegter Fläche bis zum Maximum zu laden, wo denn diese Menge bei der grofsen Teyler'schen Maschine 98, bei der kleinen 28 Quadratzoll beträgt, um einen Quadratzoll gleich stark zu laden.

Die Einrichtung, welche meine grofse Scheibenmaschine besitzt, macht sie allerdings nicht so brauchbar zur Ladung von Batterien, weil die Gröfse der in einer Umdrehung geriebenen Glasfläche noch einmal so gering ist, als wenn die van Marum'sche Einrichtung mit vier Reibkissen befolgt wäre, dagegen gestattet sie die gröfstmögliche Anhäufung der E. am Conductor, wegen des gröfseren Abstandes der Reibzeuge vom Conductor, indem bei geringerer Entfernung die Entladung längs dem Glase hin nach dem Reibkissen eher eintritt, als das freiwillige Ausströmen der E. in die Luft, welches in allen Fällen die Grenze der Anhäufung bestimmt. Bei recht günstiger Witterung beträgt die, in gerader Richtung gemessene, Länge des positiven geschlängelten Funkens, welcher von der Kugel von 4'' 3''' auf die grofse Auffangkugel von 8'' überschlägt, 18 Pariser Zoll, seine Dicke die einer dünnen Schreibfeder, und aus den Seiten fahren in der Richtung nach der Auffangkugel an mehreren Stellen Strahlen von ansehnlicher Länge. Bei noch gröfserer

Entfernung der Auffangkugel verwandelt sich der Funken in den schönsten Feuerbüschel, der sich von einem dicken kurzen Stamme bis zu einer Breite von 14" und einer Länge von 16" ausbreitet. Wird die kleinere Kugel von 2" im Durchmesser der grofsen Auffangkugel gegenübergestellt, so erreicht der Funken höchstens eine Länge von 14 Zoll und verwandelt sich bei gröfserer Entfernung bereits in einen Feuerbüschel. Der Funken verursacht, wenn man mit den Füfsen auf dem nach dem Erdboden ableitenden Drahte steht, eine Erschütterung, die derjenigen einer kleinen Kleists'chen Flasche sehr nahe kommt, und durch eine Reihe von zwanzig und mehreren Personen, die sich mit den Händen anfassen, sehr fühlbar ist. Der negative Funken ist ungeachtet der so vollkommenen Isolirung des Reibzeugs doch viel kürzer, und erreicht unter den günstigsten Umständen nur eine Länge von 6 bis 7", ist nicht geschlängelt, hat aber gleichfalls seine gröfste Länge, wenn er von einer Kugel von 4" auf jene grofse Auffangkugel überschlägt, welches mir einen ganz entscheidenden Beweis zu geben scheint, dafs eben so gut am negativen Conductor etwas Reales durch Repulsivkraft Thätiges existirt, wie am positiven, weil, wenn in Beziehung auf den negativen Conductor die ganze Thätigkeit von dem gegenüberstehenden (durch sogenannte Vertheilung positiv gewordenen) Conductor ausginge, die längsten Funken erhalten werden mufsten, wenn der negative Conductor mit einer 8zölligen Kugel endigte, und ihm gegenüber eine vierzöllige stände. Für das Gemeingefühl ist dieser negative Funken unangenehmer, wenn gleich nicht so erschütternd, wie der positive. Mir ist keine Maschine bekannt, die im Verhältnifs ihrer Gröfse einen eben so grofsen und energischen Funken liefert, wie die meinige. Dafs die Teyler'sche und die oben beschriebene Cuthbertsonsche in dieser Rücksicht ihr weit nachstehen, erhellet aus der Vergleichung mit den von diesen beiden Maschinen angeführten Wirkungen, auch die gröfste in Deutschland befindliche Maschine, von welcher Grimm[1] eine kurze Beschreibung geliefert hat, dem Prinzen Heinrich von Würtemberg gehörig und von dem Mechanicus Klingert in Breslau verfertigt, steht, wenn man auf ihre Gröfse Rücksicht nimmt, der meinigen bedeutend nach; denn bei einem Durch-

1 Gilb. Annalen IV. 359.

messer ihrer einfachen Scheibe von 5 vollen rheinländischen Schuhen, einer Länge jedes Reibkissens von 1′2″ und einer Breite von 3″,25 und einem Conductor, der denjenigen meiner Maschine wenigstens um das Fünffache übertrifft, gab sie doch keine längere Funken als von 18—20 Zoll von der Dicke eines mittelmäſsigen Federkiels. Das groſse Uebergewicht meiner Scheibenmaschine ist um so bemerkenswerther, da nach früheren Versuchen von van Marum[1] bei Vergleichung der groſsen Teyler'schen Maschine mit einer andern von völlig gleicher Einrichtung, deren Scheiben aber kleiner waren, die Stärke beider nicht im Verhältnisse der Gröſse ihrer Scheiben, sondern in einem merklich gröſseren fortschreitend sich zeigte.

Dieses Zunehmen der Wirksamkeit in einem höheren als bloſs dem einfachen Verhältnisse der Vergröſserung der Scheiben und die so weit getriebene Vervollkommnung ihrer Einrichtung hat den Scheibenmaschinen allmälig den Vorzug vor den Cylindermaschinen verschafft. Zur Würdigung der Stärke dieser letzteren theilte Nicholson, der, wie wir oben gesehen, sich vorzügliche Verdienste um ihre Verbesserung erworben, ähnliche Bestimmungen mit, wie sie bei den Scheibenmaschinen angewandt wurden. Mit einem im Durchmesser zwölfzölligen Cylinder und einem Reibzeuge von 7,5 Zoll gab eine 5zöllige Kugel häufige Blitze aufwärts von 14″ Länge, der 7zöllige Cylinder gab 10″,75 lange Funken, der Conductor des neunzölligen, dessen isolirender Fuſs nicht hoch genug war, schlug gegen den Tisch Funken in einer Entfernung von 14″. Eine Leidner Flasche von 350 Quadratzoll oder fast 2,5 Quadratfuſs Belegung, wurde bis zur freiwilligen Explosion geladen. Die Anzahl der Quadratfuſse von der Oberfläche des Cylinders, welche gerieben werden muſste, um diese Ladung von einem Quadratfuſse hervorzubringen, war nach diesem Versuche (nach der Anzahl der Umdrehungen und der Gröſse der reibenden Fläche des Reibkissens berechnet) zum wenigsten 18,03 und höchstens 19,34. Lichtenberg bemerkte damals[2], nach diesen Bestimmungen leiste ein gläserner Cylinder von 9″ Durchmesser mit einem Reiber von 7″,5 in der Länge gerade soviel, als van

---

1 S. dessen Beschreibung u. s. w. Erste Fortsetzung. Leipz. 1786.

2 Erxleben's Anfangsgründe der Naturlehre 6te Auflage 1794. Anm. zu §. 50.

Marums eigene Maschine aus zwei Scheiben von 33 Zollen, die doch fast 30mal soviel koste. Aber dieser Vorzug der Cylindermaschine verschwand allmälig, so wie die Scheibenmaschinen mehr und mehr vervollkommnet wurden. Nicholson selbst stellte später eine neue Vergleichung der Cylinder- und Scheibenmaschinen in Hinsicht auf ihre Wirksamkeit an, welche zum Vortheil der Letztern ausfiel[1]. Er glaubte nämlich aus einigen Umständen schliefsen zu können, dafs die el. Materie in einem geladenen Conductor durch unregelmäfsiges Zuströmen aus dem Cylinder in einen Zustand von Undulation versetzt werden könne, in welchem sie schneller entweicht, als wenn sie in einem mehr stetigen und regelmäfsigen Strome zugeführt wird. Wenn z. B. der Cylinder keine ganz regelmäfsige Figur hat, so drückt das Kissen an einer Seite desselben stärker als an der andern, und diese Unregelmäfsigkeit könnte noch durch andere Ursachen vermehrt werden. Diese Unregelmäfsigkeiten im Zuströmen liegen bei Cylindern mit blofsen Kurbeln weiter aus einander, als bei Cylindern mit Rädern; bei Scheibenmaschinen fehlen sie vielleicht ganz.

Die Wirkungen solcher Undulationen lassen sich, meint Nicholson nach verschiedenen Thatsachen beurtheilen: a. Ein dünner Draht, der von einer isolirten Kugel nach der Erde herabgeht, wird durch Funken positiver E., welche man auf die Kugel schlagen läfst, in seiner ganzen Länge leuchtend, während die E. durch ihn unsichtbar in den Boden strömt, wenn man die Kugel in Berührung mit dem Conductor bringt. (Der Grund dieses Unterschiedes liegt offenbar nur darin, dafs in dem zweiten Falle die E. nie eine solche Intensität erlangt, um nicht an dem Drahte vollkommen abgeleitet zu werden.) b. Eine isolirte Metallröhre an beiden Enden mit Kugeln von solcher Gröfse versehen, dafs, wenn die eine mit dem Conductor in Berührung gesetzt wird, aus der andern kein Lichtpinsel ausströmt, zeigt, wenn sie abgerückt wird, bei jedem Funken, der auf die erste Kugel fällt, einen ausströmenden Lichtpinsel an der zweiten, obschon sie in diesem Falle sicher nicht stärker als im ersten elektrisirt wird. (Hierbei kommt aber das Moment der Zeit mit in Betrachtung, da im ersten Falle die Kugel nicht in einem Augenblicke die ganze Menge von E. erhält, wie im zweiten

1 S. Gilb. XXIII. S. 300.

durch den Funken eines vorher nur erst nach einiger, wenn gleich nur sehr kurzen Zeit, auf das Maximum geladenen Conductors.) c. Eine messingene Kugel von 4″ Durchmesser, die durch einen 6″ langen Metallstab mit dem hinteren Ende des positiven Conductors verbunden war, liefs nur von Zeit zu Zeit einen Lichtpinsel ausströmen; als aber der Metallstab mit einem eben so langen Stabe aus Fichtenholz vertauscht wurde, strömten aus der Kugel unaufhörlich Lichtbüschel aus. d. Ein spitzer Draht wurde auf dem ersten Leiter einer Nairne'schen Cylindermaschine mit der Spitze aufwärts befestigt, und mit einer reinen Florentiner Flasche bedeckt, so dafs sich die Spitze in der Mitte der Flasche befand. Bei jedem positiven Funken, den man aus dem Conductor zog, zeigte sich an der Spitze das negativ el. Licht. Wurde dagegen der Versuch am negativen Conductor angestellt, so zeigte die Spitze bei jedem Funken das positiv el. Licht, so dafs die Lichtbüschel mit ihren Ramificationen das ganze Glas füllten. Es sey wahrscheinlich, meint Nicholson, dafs in diesen Versuchen das Entweichen an den Spitzen durch Undulationen veranlafst worden sey. (Gilbert meint, dieser Erfolg sey von dem Stande der Spitze auf dem Conductor und von der Vertheilung der E. in dem Conductor durch Annäherung des Funkenlockers abhängig; indefs ist diese scheinbare Umdrehung der E. des Conductors leicht daraus erklärlich, dafs durch die Spitzen jedesmal die Luft in den Flaschen, und selbst die innere Glaswand in einen mit dem Conductor gleichartigen el. Zustand versetzt wurde, der jedesmal, so wie der Conductor durch Abgeben eines Funkens seine angehäufte E. verlor, und augenblicklich wenigstens relativ auf 0 E zurückgebracht wurde, in diesem Conductor und zwar insbesondere in der zunächst gelegenen Spitze einen entgegengesetzte el. Zustand, der sich durch die entsprechende Beschaffenheit des Feuerpinsels charakterisirte, hervorbringen mufste.)

Aus einer von Nicholson mit seiner Cylindermaschine in Ansehung der Schnelligkeit der Ladung mit der kleinen van Marum'schen verbesserten Scheibenmaschine von 32″ angestellten Vergleichung, und weil es ihm wahrscheinlich ist, dafs wegen der nicht eintretenden Undulationen eine Scheibe Flaschen und Batterien stärker lade, bevor sie sich von selbst entladen, als Cylinder, und weil endlich Scheiben eine gröfsere reibende Fläche darbieten, schliefst Nicholson, dafs die van Marum'sche

kleine Scheibenmaschine der stärksten Cylindermaschine, die je ausgeführt worden, an stetiger Intensität der Erregung zum mindesten gleich sey, und dafs sie sie an Kraft zur Ladung weit übertreffe.

Noch mehr ist aber die Streitfrage, welcher von beiden Arten von Maschinen der Vorzug einzuräumen sey, durch Cuthbertson's und Singer's Versuche[1] ins Reine gebracht worden. Beide gaben sich vorzüglich Mühe, alle Umstände so ähnlich als möglich zu machen, um sichere Resultate zu erhalten. Zu diesen Versuchen gebrauchten sie einen Cylinder von 14 engl. Zoll Durchmesser mit Würtel, Rad und Schnur, wodurch die Geschwindigkeit gegen die Drehung durch die Kurbel vervielfacht wurde, und eine Scheibe von 24 engl. Zoll Durchmesser, welche sie mit einer Kurbel, wie gewöhnlich dreheten. Beide Maschinen waren von einem und demselben Künstler mit gleicher Sorgfalt gearbeitet. Nach mehreren Veränderungen in der Gröfse und Lage der Endkugeln gelang es endlich so ziemlich gleichförmige Resultate zu erhalten. Das mittlere Resultat aus 100 verglichenen Versuchen war, dafs diese beiden Maschinen eine ganz gleiche Kraft in Hervorbringung el. Ladung besafsen. Zur Schätzung der el. Kraft wurde eine und dieselbe belegte Glasfläche geladen, und diese Ladung durch Cuthbertson's Elektrometer und durch die Länge von Draht von gegebener Dicke, welcher durch die Entladung geschmolzen wurde, gemessen. Am entscheidendsten erhellete die gleiche Stärke beider Maschinen in Erregung von E. durch den Versuch, dafs beide Maschinen zugleich in Bewegung gesetzt, um eine Batterie zu laden, genau mit der Hälfte der Umdrehungen dasselbe als jede einzelne bei der vortheilhaftesten Wirkung leisteten. Die gröfste Weite, bis zu welcher die Scheibenmaschine Funken von ihrem Hauptconductor auf eine Kugel von 2″ schlug, war 6″,5, die Cylindermaschine gab bei Anwendung derselben Kugel Funken von 8″,5, und mit gröfseren Kugeln liefs sich der Funken bis auf eine Weite von 12″ treiben. Es ist indefs zu bemerken, dafs jene Gleichheit der Wirkung beider Maschinen in Ladung von Batterien ganz wegfällt und das Uebergewicht auf Seiten der Scheibenmaschine sich findet, wenn berücksichtigt wird,

1 Nicholson Journ. of natural Philosophy 1811. übers. XXXIX. 241.

dafs jede Umdrehung des Rades an der Cylindermaschine vier Umdrehungen desselben in sich begriff; als daher Singer den Cylinder bei unverminderter Reibung durch eine Kurbel drehen liefs, bedurfte es der vierfachen Menge von Umdrehungen wie zuvor, um dieselbe Wirkung hervorzubringen. Auch bewies ein analoger Versuch mit der Scheibenmaschine, dafs die Menge der erregten E. und damit die Schnelligkeit der Ladung lediglich durch die Menge der Umdrehungen bestimmt wurde, und dafs daher die Wirkung jeder Elektrisirmaschine durch die Beschleunigung der Umdrehung sehr verstärkt werden könne. Es wurde nämlich Rolle und Rad an die Scheibenmaschine angebracht, und es erfolgte die Entladung derselben Batterie bei derselben Belastung des Cuthbertson'schen Elektrometers mit 15 Gran: mit einer blofsen Kurbel nach 75 Umdrehungen; mit Rolle und Rad, welches die

Geschwindigkeit verzweifachte nach 42 —
— verdreifachte nach 28 —
— vervierfachte nach 19 —

Nach dieser Vergleichung räumt nun Singer mit Recht den Scheibenmaschinen einen entschiedenen Vorzug vor den Cylindermaschinen ein und zwar bestehen ihre Vorzüge darin, dafs sie 1. minder kostbar als die Cylindermaschinen von gleicher Stärke sind; 2. dafs sie weniger Raum einnehmen; 3. dafs sie sich in viel gröfseren Dimensionen verfertigen lassen; 4. dafs es leichter ist, mehrere Scheiben als mehrere Cylinder in einen Apparat zu vereinigen; 5. dafs sich bei ihnen die Geschwindigkeit viel besser als bei den Cylindern vervielfachen läfst, ohne dafs die Bewegung zu schnell wird; 6. dafs sich mit Scheiben von gleichem Durchmesser und einerlei Glasart gleiche und ähnliche Wirkungen erhalten lassen, während zwei vollkommen gleich wirksame Cylindermaschinen wohl kaum darzustellen sind. Die zwei Vorzüge, welche Singer den Cylindermaschinen vor den Scheibenmaschinen noch einräumt, dafs sie vollkommen isolirt werden können, und eben darum die positive und negative Wirkung in gleicher Stärke zu geben im Stande seyen, fallen weg, sobald man die van Marum'sche oder die von mir beschriebene Einrichtung befolgt.

Dafs die negative E. aller Glas-Elektrisirmaschinen in Ansehung der Länge und Dicke des Funkens schwächer als die positive ausfällt, und selbst durch die stärkste bis jetzt gebaute

Maschine, die Haarlemer keine längere Funken als von 11″ haben erregt werden können, ist bereits bemerkt worden. In dieser Hinsicht werden diese Maschinen durch die oben beschriebenen von WALKIERS merklich übertroffen. Die Commissarien der *Pariser Akademie*[1], welche diese Maschine prüften, zogen aus dem Conductor mit einer grofsen Kugel 15 bis 17 Zoll lange sehr schallende und dicke Funken, die unausstehlich schmerzhaft waren, wenn sie mit blofser Hand aufgefangen wurden, aus Spitzen sprangen merkbar Funken nach dem Leiter über, und eine Batterie von 50 Quadratfufs Belegung wurde bei 30 Umdrehungen der Maschine geladen, welche 19 Quadratfufs geriebene Fläche des Seidenzeugs auf die Ladung eines Quadratfufses belegten Glases geben würde, in welcher Hinsicht demnach diese Machine der grofsen Nicholsonschen Cylindermaschine vollkommen gleich kommt.

Was die oben beschriebene Glasglocken-Maschine betrifft, so sollte man nach den Wirkungen, welche WOLFRAM von der einzigen bis jetzt ausgeführten beschreibt, diese Gattung den wirksamsten beizählen. Es schlägt nämlich jene Maschine, deren Glocke mit Einschlufs des Halses nur eine Höhe von 20″ und einen Durchmesser von 12″ hat, unter günstigen Umständen aus l auf die Kugel n des Funkenmessers 10″ lange Funken von der Dicke eines Strohhalms, 7—8 zöllige schneller, als man zählen kann. Der Lichtbüschel ist 6—7 Zoll lang, und breitet sich unter einem Winkel von 60—70 Graden nach allen Seiten aus, eine Flasche von einem Quadratfufs äufserer Belegung wird bei 8maliger Umdrehung der Kurbel bis zum Ueberschlagen geladen. Einen besonders auffallenden Beweis der starken Elektricitätserregung durch diese Maschine gab aber der Versuch, dafs aus dem tiefer liegenden Theile einer Regenröhre, welche durch einen Draht mit dem Reibzeuge verbunden war, bei jeder Entladung des positiven Conductors schwache Funken erhalten werden konnten. Bei alle dem zweifle ich doch sehr, dafs diese Glockenmaschinen in Gebrauch kommen werden, da es sehr schwer halten dürfte, sich so regelmäfsig cylindrische Glocken zu verschaffen, dafs sie nicht in ihrem Umdrehen bedeutend schwanken, was ihre Beschädigung nur zu leicht veranlassen kann, auch ist nicht zu übersehen, dafs die Isolirung der

Fig. 51.

---

1 S. Mém. de Paris 1784 und in Licht. Magazin a. a. O.

Maschine unvollkommen, und die Zerstreuung der E. nach der Fassung unvermeidlich ist.

Es ist schon oben bemerkt worden, daſs man die Wirkungen einer Elektrisirmaschine, die an und für sich nicht zu den gröſseren gehört, durch die Ausdehnung des Leiters und besonders durch eine solche Einrichtung desselben, wodurch seine Capacität für E. vermehrt wird, ungemein verstärken, und die einfachen Funken dem erschütternden einer Ladungsflasche ganz gleich machen kann. Es ist in dem Artikel *Elektricität*, nachgewiesen worden, wie sehr die Capacität eines Leiters durch Verlängerung und verhältniſsmäſsige Verdünnung desselben vermehrt werden kann. Eine Verminderung des Durchmessers bis auf 6''' veranlaſst nach Volta's Versuchen noch kein eigentliches Ausströmen[1]. Volta verfertigte sich einen solchen Leiter von 12 hölzernen, mit Stanniol überzogenen Stäben von obigem Durchmesser, so daſs er bei 96 Fuſs Länge nur 12 Quadratfuſs Oberfläche hatte, sein Umfang also nicht gröſser als derjenige eines Leiters von 6 Fuſs Länge und 8'' Durchmesser war. Die Capacität des ersteren war um soviel gröſser als die des letzteren, daſs 25 bis 30 Umdrehungen seiner Scheibenmaschine nöthig waren, um ersteren auf das Maximum zu laden, während letzterer schon durch 4—5 Umdrehungen darauf gebracht wurde. Diese groſse Länge des Conductors kann man auch in einem beschränkten Local dadurch erhalten, daſs man mehrere kurze Stäbe über einander hängt, jedoch dürfen sie nicht zu nahe seyn, sondern müssen drei bis vier Fuſs von einander abstehen; denn stehen sie einander näher, so mindern sie wechselseitig ihre Capacität, indem sie ihre Spannung steigern. Volta gab jedem seiner Stäbe eine Länge von 8 Fuſs, die in drei Vierecken geordnet und durch seidene Fäden aufgehängt, übrigens mit einander durch Stäbe von Messing verbunden waren. Die Capacität dieses so ausgedehnten Leiters fand Volta gleich der Capacität einer Flasche oder mäſsig dünnen Glasscheibe von 4 Quadratzoll Belegung. Er gab wirklich erschütternde Funken, die bis in die Brust gingen, besonders wenn man einen in einen Brunnen reichenden Eisendraht anfaſste, um der groſsen Menge von E. hinlängliche Ableitung zu verschaffen. Der Pater Gordon verstärkte auf diese Art

1 S. Alex. Volta's Schriften übers. von Nasse 1ter Bd. 1803.

durch Anwendung eines 200 Ellen langen Eisendrahtes den Funken so sehr, daſs er Vögel damit tödtete, und WILSON entzündete mit Hülfe der auſserordentlichen Verlängerung des Leiters bis auf 12000 Fuſs durch den einfachen Funken einer mäſsig starken Elektrisirmaschine Schieſspulver, das sonst nur durch den Schlag einer Leidner Flasche oder durch den einfachen Funken der kräftigsten Maschine entzündet werden kann.

Indeſs nimmt mit der Stärke der Funken nicht auch zugleich ihre Länge zu, die mehr von der Stärke der Spannung und Dichtigkeit der E. an dem Orte, wo der Funken hervorbricht, als von der totalen Menge der E. abhängt, auf welcher vorzüglich die sonstige Wirksamkeit des Funkens beruht. Die Funken, welche sehr lange aber dabei dünne Leiter geben, sind daher zwar sehr erschütternd, aber immer kürzer als die aus kurzen cylindrischen Leitern von gröſserem Durchmesser. So fand denn auch VAN MARUM[1] bei einem Leiter von 16 Fuſs Länge und 4″ Durchmesser die Funken um 5 Zoll kürzer als bei dem gewöhnlichen (oben beschriebenen) Conductor, doch schienen sie ihm mehr Stärke zu haben.

Bei der etwas stärkeren Elektrisirmaschine darf man, wenn man das Maximum von Wirkung erhalten will, nie unterlassen, eine Ableitung durch einen nicht zu dünnen Draht nach dem feuchten Erdboden anzubringen, mit welchem man, wenn man *positiv* elektrisiren will, die Reibkissen, beim *negativen* Elektrisiren den ersten Leiter in Verbindung setzt, um im ersten Falle der durch das Reiben erzeugten negativen E. der Reibkissen, im zweiten der am Conductor sich anhäufenden positiven E. einen hinlänglichen Abfluſs oder Zufluſs der entgegengesetzten E. zu verschaffen. Mit derselben Ableitung muſs auch der Leiter, auf dessen Kugel die Funken überschlagen, in Verbindung gesetzt werden, wenn man die möglich längsten Funken erhalten will. Eine wichtige Regel besteht ferner darin, die Scheibe oder den Cylinder von allem sich anhängenden Amalgama zu reinigen, das sich besonders an den Glasscheiben nach den concentrischen Ringen derselben, und bei den Cylindern an den kleinen Blättchen, die bei manchen derselben hie und da über die Oberfläche hervorragen, leicht anhängt, und zur Entladung des Conductors nach dem Reibkissen Veranlassung giebt.

1 Tweede Vervolg etc. Haarlem 1795.

Bei einer so kräftigen und im höchsten Grade el. Scheibe, wie der meinigen, schlagen ununterbrochen, wenn der Funkenzieher zu weit entfernt ist, in bogenförmiger Richtung Funken nach dem Reibkissen hin, die stets schon bei einer viel geringeren Entfernung sich einfinden, wenn die Scheibe mit Amalgama verunreinigt ist.

Das *Amalgama* [1] wird am besten mit etwas Schweineschmalz oder Cacaobutter auf das Leder des Reibkissens aufgetragen, und so gleichförmig als möglich zum metallisch glänzenden Ueberzuge in dasselbe eingerieben. Die Erneuerung desselben richtet sich nach dem mehr oder weniger häufigen Gebrauche, den man von der Maschine gemacht hat [2].

P.

Elektromagnetismus,

später von den Franzosen meistens *Elektrodynamismus* genannt, bezeichnet den Inbegriff derjenigen magnetischen Erscheinungen, welche durch die Elektricität hervorgebracht werden, oder die Wechselwirkung elektrisirter Körper und der Magnete auf einander. Der zuerst gewählte Ausdruck bezeich-

---

1 S. *Amalgama* Th. I. S. 286.

2 Ueber chemische Wirkungen der einfachen Funken und ihr Verhältnifs gegen verschiedene Medien u. s. w. S. *Funken, elektrischer.*

Aufser den Schriften, welche das Ganze der E. behandeln, namentlich Priestley's Geschichte der E., Donndorf's, Adam's, Cavallo's Werken über die E. u. s. w., verdienen über Elektrisirmaschinen noch besonders verglichen zu werden: Martin van Marum Abhandlung über das Elektrisiren, enthaltend die Beschreibung und Abbildung einer neu erfundenen Elektrisirmaschine u. s. w. Aus dem Holländischen von Möller. Gotha 1777. M. G. C. Bohnenberger's Beschreibung einer auf eine neue sehr bequeme Art eingerichteten Elektrisirmaschine Stuttgart 1784—1791. *Derselbe* Beschreibung einiger Elektrisirmachinen und elektrischer Versuche nebst sechs Fortsetzungen. Stuttgart 1783 —1791. Beschreibung einer Elektrisirmaschine und einiger damit von J. R. Deimann und A. Paets van Troostwyk angestellter Versuche herausgegeben von John Cuthbertson. Leipzig 1790. Martinus van Marum Tweede Vervolg der Proefnemingen etc. Haarlem 1795. (enthält die Beschreibung seiner verbesserten Elektrisirmaschine). Joh. Christ. Hoffmann praktische und gründliche Anleitung auf eine leichte und wohlfeile Art gute Elektrisirmaschinen zu bauen u. s. w. Leipzig 1798.

net die Sache genau und vollständig; der spätere, nämlich *dynamische Elektricität*, welcher von AMPÈRE den Wirkungen der geschlossenen Volta'schen Säule beigelegt ist, um sie von denen der nicht geschlossenen, daher Funken gebenden, und denen einer gemeinen Elektrisirmaschine sich ähnlicher zeigenden, zu unterscheiden, als welchen er den Namen der *elektrostatischen* beilegt, hat in sich gar keinen empfehlenden Grund. Auch die Ausdrücke: *chemischer Magnetismus*, *Volta'scher Magnetismus* und *Galvanomagnetismus* bezeichnen die Sache ungleich schlechter.

I. Geschichte des Elektromagnetismus.

Seitdem die Anhänger der dynamischen Naturphilosophie sich bestrebten, die verschiedenen Naturerscheinungen nicht sowohl als Wirkungen individueller Substanzen anzusehen, sondern vielmehr das Materielle selbst als das Resultat gewisser Urkräfte darzustellen, mufste ihnen vorzüglich daran gelegen seyn, die unwägbaren Stoffe als unmittelbare, und nur unwesentlich modificirte, Aeufserungen einer einzigen Urkraft nachzuweisen. Licht, Wärme, Elektricität und Magnetismus fielen demnach ihrem Wesen nach in eins zusammen. Als insbesondere ALEXANDER VOLTA in der nach ihm benannten elektrischen Säule die gelehrte Welt mit einem unschätzbaren Apparate beschenkte, welcher an seinen beiden Enden die zwei Elektricitäten bleibend erhielt, glaubte man in dieser die Pole eines Magnetes sichtbar dargestellt, und hielt die Identität der Elektricität und des Magnetismus für begründet, welche als ähnlich zu betrachten schon die frühere Bezeichnung von + und — M., ähnlich dem + und — E veranlafst hatte. Insbesondere war es J. W. RITTER[1], welcher den Satz aufstellte, jede Volta'sche Säule sey ein wirklicher Magnet, und müsse als solcher auch magnetische Polarität zeigen. Verschiedene Physiker zeigten zwar durch die Erfahrung, dafs eine solche Wirkungsart der Volta'schen Säule fremd sey, allein RITTER's hoher Schwung der Phantasie erhielt ihm eine Menge Anhänger und Verehrer, da es allerdings viel leichter ist zu phantasiren als zu philosophiren. Ich selbst habe in Verbindung mit GRUNER in Hannover damals viele Mühe darauf verwandt, durch ungewöhnlich

1 Beiträge zum Galvanismus II. 55. Ann. de Chim. LXIV. 80.

starke magnetische Batterien eine der Volta'schen Säule ähnliche Wirkung hervorzubringen, oder ganz kleine und möglichst bewegliche Säulen durch jene zu afficiren, aber vergebens. Hätte man umgekehrt den Einfluſs groſser Säulen auf leicht bewegliche Magnetnadeln geprüft, so wäre die Wahrheit vielleicht früher aufgefunden. Daſs es übrigens unmittelbar vor der Auffindung des Elektromagnetismus noch Physiker gab, welche die durch RITTER behauptete Identität der Elektricität mit dem Magnetismus vertheidigten, beweiset unter andern die gegen das Ende des Jahres 1818 durch v. YELIN über diesen Satz gehaltene Rede[1], worin aber, auſser schwachen, wenn man wollte zwischen jedem beliebigen Paare gegebener Stoffe aufzufindenden, Analogieen kein genügender Beweis, auch keine neue Thatsache zur Unterstützung der aufgestellten Behauptung beigebracht ist. Man kann daher mit Wahrheit sagen, daſs man bis zu jener Zeit von einer Wechselwirkung beider Potenzen auf einander noch nicht mehr wuſste, als schon seit vielen Jahren bekannt war, nämlich daſs insbesondere Blitzschläge, aber auch starke elektrische Batteriefunken den Magnetismus im Stahle sowohl hervorzurufen, als auch zu zerstören, die Polarität zu erzeugen, und umzukehren vermögen[2], welches indeſs nach den entscheidenden Versuchen VAN MARUM's für eine bloſse Wirkung des Stoſses und der Erschütterung durch Elektricität angesehen wurde[3]. Wenn endlich nicht sowohl MOJON aus Genf, als vielmehr ROMANESI aus Trident zufällig elektromagnetische Erscheinungen wirklich beobachtet haben, so ist dennoch keineswegs einer von diesen als der Entdecker dieses wichtigen Zweiges der Naturlehre zu betrachten, weil sie die Neuheit und

---

1 Ueber Magnetismus und Elektricität als identische und Urkräfte. München 1818. 4. Genau genommen könnten wohl beide, wenn sie wirklich identisch wären, nicht Urkräfte, sondern nur *eine* Urkraft seyn.

2 Mehreres hierüber von SCHWEIGGER findet man in dessen Journ. N. R. XVI. 1. BECCARIA leitete sogar schon den Magnetismus überhaupt, wie AMPÈRE, von beständigen elektrischen Strömungen ab. S. Priestley Gesch. d. El. S. 221. CIGNA in Misc. Taur. I. 43. redet gleichfalls von d. Aehnlichkeit der Elektricität und des Magnetismus.

3 Beschreibung einer vorzüglich groſsen Elektrisirmaschine u. s. w. Deutsche Uebers. Leipz. 1786.

Wichtigkeit des Fundes übersahen, und diesen also selbst nicht kannten und gehörig würdigten [1].

Aus demjenigen also, was bis dahin bekannt war, konnten unmöglich die später entdeckten Erscheinungen des Elektromagnetismus gefolgert werden, im Gegentheil ist vielmehr jetzt, nach so außerordentlich verfeinerten und vervollkommneten Meſswerkzeugen, so gut als erwiesen, daſs die Volta'sche Säule weder selbst ein Magnet ist, noch auch daſs ihre Pole magnetische sind. Dessen ungeachtet hielten allezeit noch einige Physiker fest an dem durch Thatsachen keineswegs begründeten Glauben, Elektricität und Magnetismus seyen ihrem Wesen nach identisch. Ein Anhänger dieser früher [2] von ihm ernstlich vertheidigten Meinung blieb auch später noch Oersted, und bemühete sich daher in seinen Vorlesungen einen Einfluſs der Pole einer Volta'schen Säule auf die Pole der Magnetnadel darzuthun, welches aber stets vergeblich seyn muſste. Eine solche magnetische Polarität konnte die Säule nur zeigen, wenn ihre Pole nicht geschlossen oder wenn sie durch einen leitenden Verbindungsdraht geschlossen waren; daſs aber der letztere selbst einen Einfluſs auf die Magnetnadel äuſsern solle, konnte aus den damals herrschenden Ansichten nicht gefolgert werden, indem man sonst bei der erwiesenen Identität der Reibungs- und Berührungs-Elektricität auch dem Verbindungsdrahte beider Pole einer Leidner Flasche Polarität zugeschrieben hätte. Man muſs es daher unter Voraussetzung einer consequenten Argumentation für einen Zufall erklären, welcher Oersted auf eine der wichtigsten Entdeckungen im Gebiete der Naturlehre führte, die aber nichts destoweniger seinen Namen unsterblich machen wird. Als nämlich im Winter 1819 auf 20 in seinen Vorlesungen ein feiner Platindraht, welcher beide Pole einer starken Volta'schen Säule verband, und dadurch glühend gemacht war, über eine Magnetnadel herging, zeigte diese eigenthümliche Schwankungen, und muſste in diesem ihrem Verhalten räthselhaft erscheinen, weil man nach den bestehenden Kenntnissen nur Anziehung oder Abstoſsung derselben erwarten konnte. Wenn Oersted später [3] darzuthun

---

1 Traité sur le Galvanisme publié par le Prof. Aldini. à Par. 1804. S. 191. Vergl. G. LXVIII. 208.

2 Ansicht der chemischen Naturgesetze. Berlin 1812.

3 Schweigg. Journ. N. F. II. 199.

suchte, dafs das Bestreben, den Einflufs beider Elektricitäten im Augenblicke ihrer Ausgleichung auf die Magnetnadel aufzufinden, ihn unmittelbar auf diese Entdeckung geführt habe, so kann hierbei nur von der magnetischen Polarität der Pole einer geschlossenen Säule die Rede seyn. Es scheint auch fast, als ob weder Oersted selbst, noch seine Zuhörer die Wichtigkeit der merkwürdigen Entdeckung sogleich in ihrem ganzen Umfange aufgefafst haben, weil es sonst unerklärlich seyn würde, warum nicht früher etwas davon ins Publicum kam, als bis der Erfinder selbst sie etwa sechs Monate später in einer eigenen Schrift bekannt machte[1].

Als am Ende des Sommers 1820 die grofse Entdeckung hauptsächlich zuerst den Akademien und gelehrten Gesellschaften bekannt wurde, dauerte es noch einige Zeit, bis sie ganz eigentlich ins Publicum kam.

Hierzu lag die Veranlassung theils in der ursprünglichen, etwas schwerfälligen und verworrenen, Darstellung der Sache, hauptsächlich aber darin, dafs der Erfinder selbst und die ersten Physiker, welche die Versuche wiederholten, zum Gelingen derselben eine so starke Volta'sche Säule verlangten, dafs der Verbindungsdraht zum Glühen gebracht wurde. Auffallend bleibt es immer, warum Oersted in dem langen Zeitraume, von der ersten Entdeckung bis zum Erscheinen seiner Schrift, nicht auffand, dafs zwei nur mäfsig grofse Platten von Zink und Kupfer die Wirkung nicht blofs gleichfalls, sondern sogar noch besser zeigen, als starke Volta'sche Säulen von vielen Platten. Die Forderung eines so mächtigen Apparates hielt manche Physiker ab, die Versuche zu wiederholen, einige zogen sogar die Sache in Zweifel, weil sie glaubten, dafs der starke elektrische Strom wohl gewisse Schwankungen der Nadel als eines leicht beweglichen Körpers erzeugt haben könne, die man fälschlich einem erregten Magnetismus beigemessen habe. Die ersten, welche die Sache selbst bestätigten, und die Aufmerksamkeit der Physiker rege machten, waren J. T. Mayer,

---

1 Experimenta circa effiaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae 21. Jul. 1820. Vergl. C. H. Pfaff der Elektro-Magnetismus, eine historisch-kritische Darstellung der bisherigen Entdeckungen auf dem Gebiete desselben, nebst eigenthümlichen Versuchen. Hamb. 1824. 8.

durch eine Anzeige der Oersted'schen Schrift[1] mit dem Zusatze, dafs auch ihm die wiederholten Versuche gelungen seyen, und DE LA RIVE, welchem es gleichfalls gelang, in Gegenwart ARAGO's und mehrerer Gelehrten das merkwürdige Phänomen wahrzunehmen[2]. Kaum waren aber diese Nachrichten ins Publicum gekommen, als nicht blofs alle Physiker, sondern auch eine Menge Naturforscher, Aerzte, Dilettanten und sogar solche, welchen wissenschaftliche Forschungen übrigens fremd zu seyn pflegen, sich mit einer unerhörten Leidenschaftlichkeit der neuen Entdeckung bemächtigten. Man kann den damaligen allgemein erregten Enthusiasmus füglich demjenigen vergleichen, welcher sich äufserte, als die ersten aërostatischen Maschinen ein bis dahin für unmöglich gehaltenes Problem löseten, mit dem einzigen Unterschiede, dafs zu jener Zeit selbst Könige, Fürsten, Provincialstände und städtische Corporationen jene nicht selten halsbrechenden Schauspiele freigebigst unterstützten und durch Aeufserungen ihres Beifalls beförderten. Indefs haben sowohl einzelne Gelehrte als insbesondere die gelehrten Gesellschaften sich wetteifernd bestrebt, dem berühmten Erfinder ihre Achtung und ihren Dank für seine höchst merkwürdige Entdeckung auszudrücken. Die Ursache einer so allgemeinen Theilnahme lag wohl hauptsächlich darin, dafs die räthselhafte Potenz des Magnetismus, welche zum Ueberdrufs forschender Physiker allezeit ganz isolirt und gleichsam blofs an das starre Eisen gebunden da gestanden hatte, jetzt auf einmal mit einer der allgemeinst verbreiteten Potenzen in Verbindung trat, theils an dem Imposanten einer merkwürdigen Thatsache, welche nach ermüdenden Speculationen, namentlich in Deutschland, jetzt plötzlich in ihrer ganzen Wichtigkeit hervortrat, theils endlich in der Leichtigkeit, womit sich diese merkwürdigen Erscheinungen hervorrufen liefsen, und der Kleinheit der hierzu erforderlichen Apparate. Sobald nämlich mehrere Physiker die Versuche zu wiederholen angefangen hatten, entdeckten sie allgemein, dafs man hinlänglich starke Abweichungen der Nadel schon mit Platten von 3 bis 4 Zoll Seite hervorbringen könne, und noch obendrein stärkere, als mit vielplattigen Säulen von kleinerem Durchmesser. BOECKMANN unter andern mühete sich vergebens ab,

1 Gött. Gel. Anz. 1820. N. 171.

2 Bibl. univ. XIV. 281.

mit einer Säule von 200 Doppelplatten von der Gröfse eines Laubthalers die angekündigten Phänomene hervorzubringen, bis er am folgenden Tage durch weit geringere Mittel zum Ziele kam, und ich selbst brachte es endlich dahin, eine Säule von 106 Doppelplatten, gröfstentheils 6 Z. Seite haltend, aufzubauen, um ja des als Bedingung des Gelingens angegebenen Glühens des Platindrahtes versichert zu seyn, fand aber beim Auseinandernehmen der grofsen Säule, dafs die Wirkung bis auf 5 Plattenpaare herab nicht abnahm, und sah am folgenden Tage die Schwingungen der Nadel durch zwei der gebrauchten Platten sehr auffallend hervorgebracht. Von nun an machten in den Jahren 1821, 22 und bis in 23 hinein die Versuche und Theorien über den Elektromagnetismus den Hauptinhalt der physikalischen Zeitschriften aus, der vielen einzeln erschienenen Abhandlungen nicht zu gedenken; die Geschichte kann die verschiedenen Erweiterungen der ursprünglichen Entdeckung nicht einzeln verfolgen, da sie ohnehin bei der Erklärung der Sache selbst kurz erwähnt werden müssen. Nur zwei Entdeckungen verdienen wegen ihrer Wichtigkeit besonders genannt zu werden, nämlich die durch Arago und v. Yelin gleichzeitig gemachte, dafs unter geeigneten Umständen ein Leitungsdraht der Reibungselektricität gleiche Wirkungen auf unmagnetischen Stahl äufsert, als der Verbindungsdraht beider Pole einer Volta'chen Säule; und die zweite von Schweigger und Poggendorf kurz nach einander aufgefundene leichte Isolirung des elektrischen Stromes im leitenden Drahte bei nicht stattfindender Isolirung seines erregten Magnetismus, wonach mehrere Drähte vereinigt werden können, um die Wirkung zu verstärken, was dann den elektromagnetischen *Multiplicator* hervorrief[1].

II. Apparate zur Erregung des Elektromagnetismus.

Das schon erwähnte lebhafte Interesse, womit Oersted's Entdeckung allgemein aufgefafst wurde, die häufigen Wiederholungen des anfänglichen Hauptversuches nebst dem Bestreben, das eigentliche Wesen dieser Sache zu ergründen und die Erfindung wo möglich zu erweitern, haben in einem kurzen Zeit-

1 Vergl. Historical sketch of Electro-magnetism. in Ann. of Phil. New Ser. II. 195. 274. III. 107.

raume die elektromagnetischen Erscheinungen und die Apparate, womit diese hervorgebracht werden, so über alle Vorstellung vervielfältigt, daſs es in der That schon jetzt schwierig ist, das Ganze zu übersehen, ohne sich in der Menge der Thatsachen bei der vielfachen Gestaltung derselben zu verwirren. Indem aber viele der beobachteten Phänomene nur in auſserwesentlichen Puncten von einander abweichen, die Apparate vielfach nur unbedeutend abgeändert sind, zur leichteren Uebersicht des Ganzen aber wesentlich erforderlich ist, die hauptsächlichen Erscheinungen in einer gewissen Ordnung zusammenzustellen, so wird es am zweckmäſsigsten seyn, die Zeitfolge der allmäligen Entdeckungen zu verlassen, dagegen aber die ähnlichen Phänomene zusammenzustellen, und zugleich die zu ihrer Erzeugung erforderlichen zweckmäſsigsten Apparate zu beschreiben. Hierbei ist aber nothwendig zuerst Folgendes im Allgemeinen vorauszuschicken.

Die zahlreichen elektrischen Apparate, wodurch der Magnetismus in den verschiedenen leitenden Körpern hervorgerufen wird, und dann auf den Magnet oder bloſses Eisen wirkt, und zugleich auch dem Einflusse des Erdmagnetismus unterliegt, sind am gehörigen Orte beschrieben, und müssen daher hier übergangen werden[1]. Im Allgemeinen gehören dazu die gemeine Elektrisirmaschine und die Leidner Flasche, dann aber hauptsächlich die verschiedenen Arten der Volta'schen Säulen. Die letzteren lassen sich füglich unter zwei Hauptclassen ordnen, deren eine aus zwei getrennten Metallen besteht, welche durch einen metallenen Leiter verbunden ihre ungleiche elektrische Spannung vermittelst eines feuchten Leiters ausgleichen. Zu den Metallen wählt man in der Regel Kupfer und Zink, worauf ich mich für den vorliegenden Zweck allein beschränken kann; die einer näheren Untersuchung bedürfenden feuchten Leiter sind entweder in einer stark damit getränkten Tuch- oder Pappscheibe enthalten, oder befinden sich frei in einem Gefäſse. Die andere Classe bilden alle diejenigen Apparate, welche aus mehreren, paarweise verbundenen, und durch feuchte Leiter auf einander einwirkenden heterogenen Metallen bestehen. Hierunter gehören die gemeinen stehenden oder liegenden Säulen, die verschiedenen Trogapparate, Becherapparate u. dgl. Es ist

1 S. *Galvanismus*, *Elektrisirmaschine* u. s. w.

zwar hier nicht der Ort, die Wirkungen dieser beiden Arten mit einander in jeder Hinsicht zu vergleichen, noch weniger kann die individuelle Art der Erregung der Elektricität durch dieselben hier erörtert werden, oder die schwierige Frage, ob man den Erscheinungen gemäfs nur eine oder zwei verschiedene Elektricitäten anzunehmen habe; inzwischen hat eben der Elektromagnetismus einen wesentlichen Unterschied jener verschiedenen Apparate erst recht augenfällig gemacht, welcher von manchen bei ihren Versuchen nicht beachtet war, und daher vielfache Verwirrung rücksichtlich derjenigen Richtung hervorbrachte, welche die Magnetnadel entweder östlich oder westlich abweichend gezeigt haben sollte[1]. Um daher ähnlichen Mifsverständnissen zu begegnen, ist es nothwendig, einige wesentliche Bestimmungen über diejenigen Vorstellungen vorausgehen zu lassen, welche man rücksichtlich der Erregung der Elektricität durch Berührung oder den Conflict heterogener Metalle bisher angenommen hat.

Wenn ein Volta'scher Apparat aus zwei heterogenen Metallen und einem flüssigen Zwischenmittel besteht, und man zugleich mit Franklin und Volta nur *eine* elektrische Materie annimmt, so strömt die Elektricität von dem minder elektrischen durch eine vollkommene metallische Leitung zu dem mehr elektrischen, und gleicht sich durch das flüssige Medium wieder aus. Sind daher die beiden Metalle z. B. *Kupfer* und *Zink*, welche rücksichtlich ihrer elektrischen Disposition weit von einander abstehen, werden sie durch einen Metalldraht innig mit einander verbunden, und durch eine nasse Tuchscheibe von einander getrennt, so theilt das minder elektrisch disponirte Kupfer seine Elektricität durch den leitenden Draht dem Zinke mit, welcher sie durch die nasse Tuchscheibe oder die trennende Flüssigkeit dem Kupfer wieder zuführt. Ohne die Richtigkeit dieser Vorstellung Volta's hier prüfen zu wollen, ist es offenbar, dafs hiernach ein beständiger Strom der Elektricität vom Kupfer zum Zinke hin statt finden mufs, und der Draht, durch welchen die Leitung dieses Stromes geht, äufsert dann die nachher zu erwähnenden magnetischen Wirkungen. Sind dagegen mehrere Plattenpaare heterogener Metalle mit einander verbunden, oder ist eine Säule so angeordnet, dafs Kupfer, Zink,

---

1 Gilb. Ann. LXVI. 348.

feuchter Leiter; K. Z.; F....... in dieser fortgehenden Reihenfolge mit einander verbunden werden, so geht allerdings gleichfalls sowohl bei der ersten, als auch der zweiten und jeder folgenden dieser Verbindungen die Elektricität vom Kupfer zum Zink über, und theilt sich dann so verstärkt durch den feuchten Leiter jedem folgenden Paare mit. Allein eben hierdurch muſs das Kupfer des ersten Paares am stärksten negativ, das Zink des letzten dagegen am stärksten positiv elektrisch werden, und ein diese beiden verbindender metallischer Leiter wird sonach die Elektricität vom letzten Zinke dem ersten Kupfer wieder zuführen. Hierbei ist also die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte, und die Wirkungen auf den Magnet sind daher rücksichtlich der erzeugten Ablenkung die entgegengesetzten der vorigen.

Die beiden so eben beschriebenen Apparate bieten übrigens auſser der Richtung des elektrischen Stromes noch eine längst bekannte wesentliche Verschiedenheit dar. Indem nämlich die *Menge* der Elektricität, welche von einer Kupferplatte zu einer Zinkplatte übergeht, der Gröſse derselben proportional seyn muſs, so scheint es, als käme man bei den aus einem Paare Metallplatten bestehenden Apparaten sehr bald an die Grenze der möglicher Weise hervorzubringenden Elektricität, indem eine einzelne Platte nicht füglich übermäſsig groſs seyn kann. Allein man hat Mittel gefunden, auch auf diese Weise mächtige Wirkungen hervorzubringen, indem man mehrere Zinkplatten und mehrere Kupferplatten durch metallische Leiter mit einander verbindet, die so vereinigten aber insgesammt, jede einzeln, von einander durch einen feuchten Leiter trennt, so daſs also die sämmtlichen Zinkplatten als eine einzige, und die sämmtlichen Kupferplatten wieder als eine einzige wirken, folglich auch ein Metalldraht einen starken elektrischen Strom vom Kupfer zum Zink überführen muſs. Die Zahl der Plattenpaare bei der anderen Art von Apparpaten kann leicht willkürlich vermehrt werden, und man hat daher auf diese Weise wahrhaft riesenmäſsige Säulen zu Stande gebracht. Allein die *Menge* der Elektricität eines ersten Plattenpaares ist eine gegebene, und wird durch ein folgendes nicht verdoppelt, bei schlechter Leitung des feuchten Zwischenmittels oder bei trockenen Säulen gar nicht vermehrt, wohl aber wird die *Spannung* derselben verdoppelt, und so bei jedem folgenden um eine gleiche Gröſse

verstärkt. Indem hiernach also die Wirkungen beider im Allgemeinen verschieden seyn müssen, so sind sie es auch vorzüglich in Beziehung auf die Hervorbringung des Magnetismus, und zwar in der Art, daſs die *Stärke des erzeugten Magnetismus* der *Menge der Elektricität*, nicht aber der *Spannung derselben* proportional ist. Hierin liegt der Grund, weswegen anfangs mehrere Physiker mit vielplattigen Säulen nur eine geringe Schwankung der Nadel erhielten. Bei der Anwendung von zwei gröſseren, 4 bis 8 Zoll Seite haltenden Platten aber sofort die Magnetnadel stark abweichen, und sogar in einem ganzen Kreise umlaufen sahen. Schweigger[1] war wohl der erste, welcher dieses bekannt machte, bald aber wurde es durch verschiedene andere Gelehrte bestätigt und genauer bestimmt. Von Yelin, als einer der ersten und eifrigsten Forscher im Gebiete des Elektromagnetismus, fand, daſs eine Säule von 50 Plattenpaaren keine merklich gröſsere Elongation gab als eine von 10 Paaren, daſs dagegen bei *einem* Paare Metallplatten die Wirkung ihrer Gröſse fast direct proportional sey[2]. Zambonische Säulen dagegen von 5500 und 11000 Scheiben, deren Durchmesser 8 Lin. betrug, hatten auf die Magnetnadel gar keinen Effect[3]; eine nachher vielfach bestätigte Erfahrung[4], welche daher berechtigt, die trocknen Säulen von der Untersuchung der gewöhnlichen elektromagnetischen Erscheinungen ganz auszuschlieſsen. Unter die entscheidenden Versuche über diesen Hauptsatz in der Lehre vom Elektromagnetismus gehören die von G. G. Schmidt[5]. Dieser nahm 3 kupferne Kasten, 5 Z. ins Gevierte und 1 Z. weit, jeden mit einer darin hängenden Zinkplatte, füllte sie mit im Verhältniſs von 60 : 1 verdünnter Schwefelsäure, verband die gleichartigen Metalle mit einander, und erhielt auf diese Weise mit 3 Kästen 50°; mit zwei Kästen 31° und mit einem 17° Abweichung der Magnetnadel, dagegen gaben alle drei als 3 Metallpaare wirkend nur 18° bis 20°. Aehnliche Resultate

---

1 Gött. Gel. Anz. 1820. St. 171. S. 1710. Dessen Journ. N. F. I. 1.

2 G. LXVI. 397.

3 G. LXVI. 324.

4 Bechstein's Säule, aus 20000 sechszehn quadratzölligen Scheiben bestehend, zeigte gleichfalls keine Wirkung. S. G. LXVII. 381. Vergl. Erman ebend. 422.

5 G. LXX. 230.

erhielten C Schrader[1], C. H. Pfaff[2], Davy[3] und viele andere. Nach den Versuchen von van Beek[4] wirkte ein Wollaston'scher Trogapparat von 120 Plattenpaaren, dessen Zink eine Oberfläche von 11 Quadratfuſs darbot, und welcher die Kohle mit groſsem Glanze verbrannte, nicht so stark auf die Magnetnadel, als ein einziges solches Plattenpaar, dessen Zink ungefähr 3,5 Quadratf. Oberfläche hatte. Als man aber von dem Trogapparate nur so viele Paare auf die Magnetnadel wirken lieſs, daſs der Zink mit dem einen Plattenpaare eine gleiche Oberfläche hatte, gaben diese nur 12° Abweichung derselben, statt daſs jenes 60° gegeben hatte.

Nach solchen entscheidenden Thatsachen wird man schwerlich geneigt seyn, die verschiedenen mehrplattigen Apparate zur Erregung des Elektromagnetismus zu benutzen, und man hat auch bald angefangen, sie von dieser Benutzung auszuschlieſsen. Aber auch die aus einem einzigen Plattenpaare bestehenden Apparate sind ziemlich vielfach, und es wird daher genügen, die hauptsächlichsten derselben kurz zu beschreiben.

A. Elektromotore.

1. Der einfachste Apparat, dessen man sich zur Hervorbringung einer groſsen Zahl elektromagnetrischer Erscheinungen bedienen kann, besteht aus zwei gleichgroſsen Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, jede mit einem aufgelötheten Messingdrahte von mehreren Fuſsen Länge. Man legt die eine Scheibe flach auf eine Glasscheibe, einen gläsernen Teller, ein Weinglas oder eine sonstige isolirende Unterlage ohne ängstliche Sorge für eine nicht wesentliche vollständige Isolirung, bedeckt sie mit einer mit der leitenden Flüssigkeit stark getränkten Tuchscheibe, und legt die andere Platte darauf. Nach Erfordern wird dann durch einen oder durch beide Drähte die Verbindung zwischen beiden Platten hergestellt. Bedient man sich groſser Platten, welche man von einem Quadratfuſs Flächeninhalt jedes Metalles bis zu 4 auch wohl 9 und noch mehreren Quadratfuſsen

---

1 Diss. inaug. medico-physica de Electro-Magnetismo. Halae 1821. p. 26.

2 Der Elektromagnetismus S. 111.

3 G. LXXI. 231.

4 G. LXIX. 200.

in Anwendung bringen kann, benetzt die Tuchscheibe etwas stark und belegt die obere Platte mit verhältnifsmäfsig vielen Gewichten, so erhält man einen vorzüglich starken Apparat, welchem ich vor allen andern den Vorzug geben möchte. Nachtheilig ist, dafs die Metalle während der ganzen Dauer der Versuche im Conflicte bleiben, und daher stark angegriffen werden. Wenigstens ist dieses beim Zinke der Fall.

2. Gleich bequem, hinlänglich wirksam und für viele Fälle passend sind die schon oben erwähnten kupfernen Kasten nach Wollaston, deren Form im Allgemeinen ähnlich bleibt, während ihre Gröfse vom kleinsten bis zum gröfsten zunehmen kann. Gewöhnlich macht man sie von Kupfer, etwa 6 Z. ins Gevierte, oder 6 Par. Z. lang, 5 Z. hoch und 1 Z. tief, welche mit der leitenden Flüssigkeit gefüllt werden, worin dann die etwas weniger lange Zinkplatte so getaucht wird, dafs sie den Boden nicht berührt. Man kann diese Kasten mit dem Schnelllothe der Klempner oder auch hart löthen; Letzteres ist nothwendig, wenn man sich der Salmiakauflösung als leitender Flüssigkeit bedient, indem diese sonst das Schnellloth zerstört. Zum festen Stande derselben kann man ihnen irgend einen Fufs geben, auch ist es rathsam, an den Seiten derselben zwei geeignete Träger mit Gabeln anzubringen, die Zinkscheibe an zwei messingenen Haken über eine Glasröhre zu hängen, und letztere so in die Gabeln zu legen, dafs die Feuchtigkeit von der aus dem Kasten gehobenen Zinkplatte in den Kasten wieder zurückläuft. Dieses gewährt den Vortheil, dafs die Zinkplatte nicht zu sehr zerfressen wird, die anhaltende Gasentwickelung weniger beschwert, und man auf beliebig lange oder kurze Zeit die galvanische Verbindung herstellen oder trennen kann. An die eine Seite des kupfernen Kastens wird das eine Ende eines Drahtes gelöthet, dessen anderes Ende an das obere Eck der Zinkplatte gelöthet ist. Hängt dann die Platte an der Glasröhre in den Gabeln, so ist die galvanische Kette geöffnet, wird aber geschlossen, wenn man sie in die Flüssigkeit des Kastens senkt, und auf den Rändern des letzteren an der tragenden Glasröhre isolirt ruhen läfst. Solcher Kasten lassen sich mehrere mit einander vereinigen, wenn man das Kupfer derselben unter sich und eben so die Zinkplatten unter sich durch metallische Leitung verbindet, wonach also jene mit diesen zusammen nur zwei Elemente bilden. Diese Kasten sind ferner geeignet, um

sehr grofse Apparate zu entscheidenden Versuchen zu erhalten. Sie lassen sich nämlich leicht in solcher Gröfse verfertigen, dafs jede einzelne Zinkplatte 6 Par. Quadratfufs hält, und wollte man 12 solcher Kasten vereinigen, so gäbe dieses 72 Quadratfufs Zink, eine gewifs ins Ungeheure gehende Batterie. In diesem Falle müssen aber die zwei bis drittehalb Zoll weiten Kasten unten eine Röhre haben, um die Flüssigkeit abzulassen, wenn man das Ausfüllen mit einem Heber nicht vorzieht, die Zinkplatten aber müssen an einem hölzernen Rahmen befestigt seyn, und vermittelst zwei oder mehrerer Seile, welche über Rollen gehen, durch Gegengewichte balancirt werden, um sie bequemer herauszuheben und schnell durch Herablassen derselben die galvanische Kette zu schliefsen. Die geeignetste Flüssigkeit für diese Apparate ist verdünnte Schwefelsäure, weil durch diese die Kupferflächen am wenigsten beschmutzt werden, und man zu ihrer Reinigung blofs des Ausspülens mit reinem Wasser bedarf, die Zinkplatten aber gar keine Reinigung erfordern, aufser dafs es gut ist, sie einigemale in das zum Ausspülen der Kasten in diese gegossene Wasser zu tauchen. Bei einem neuen Versuche weicht die Säure den erzeugten Schmutz sehr bald wieder auf, ohne dafs man eine merkliche Verminderung der Wirkung wahrnimmt.

3. Die eben beschriebenen Kasten sind theuer, wenn man sie hart löthen läfst, bei der Löthung mit Zinn kann auf die Dauer keine Salmiakauflösung angewandt werden, wie oben schon erwähnt ist, die Schwefelsäure erzeugt aber bei grofsen Apparaten eine solche Menge von Zinkhaltigem Wasserstoffgas, dafs es nicht blofs gefährlich, sondern selbst unmöglich ist, dabei auszudauern[1]. Man mufs diesem daher, wenn man im Grofsen arbeiten will, einen Abzug durch eine Art von Schornstein verschaffen, und aufserdem den elektromotorischen Apparat in einem besondern Zimmer aufstellen. Ein grofser, leicht zu handhabender, für jede Art von Flüssigkeit geeigneter und doch leicht aufzubewahrender Apparat ist folgender. Man nimmt eine blofse Kupferplatte, welche von 1 bis 9 Quadratfufs Fläche und noch darüber leicht zu erhalten ist, läfst diese spannen und ihren Rand nach Verhältnifs ihrer Gröfse 0,75 bis 2 Zoll hoch aufbiegen, legt sie auf einen hölzernen Rahmen

1 Vergl. unten: *feuchte Leiter.*

oder eine Tischplatte horizontal, in dieselbe eine erforderliche Zahl Glasstücke und auf diese die Zinkplatte gleichfalls horizontal, gieſst dann die Flüssigkeit hinein, uud verbindet beide Metalle durch einen Leitungsdraht. Ist der Apparat sehr groſs, so muſs die Zinkplatte durch das Aufbiegen ihres Randes in der Höhe von etwa 0,5 Zoll gesteift, und mit zwei Handhaben versehen seyn, um sie bequem aufheben und niederlegen zu können. Man stellt dann an die zwei Ecken der Kupferplatte zwei hölzerne Böcke, einige Zolle höher als die Kupferplatte und mit einer Gabel oder nur einem Ausschnitte versehen, legt parallel mit der Seite der Kupferplatte eine hinlänglich starke Glasröhre hinein, stellt zwei ähnliche, nur 0,5 Z. niedrigere Böcke neben die Kupferplatte, hebt die Zinkplatte in die Höhe, schiebt unter sie in die beiden letzteren Böcke gleichfalls eine starke Glasröhre, und läſst sie hierauf ruhen, wobei die Flüssigkeit in die Vertiefung der Kupferplatte abflieſst, die Zinkplatte aber gegen zu starkes Zerfressen geschützt wird. Ist letztere zu schwer, so läſst sich das Heben derselben auch durch einen Flaschenzug bewerkstelligen. Im Ganzen sind aber solche Apparate im Vergleich mit andern zu unbequem.

4. Einen zweckmäſsigen Apparat zur Hervorbringung eines starken elektrischen Stromes hat G. G. SCHMIDT[1] angegeben. Dieser bestand aus einer Kupferplatte von 20 Z. Höhe und 30 Z. Länge, welche gespannt und ihrer Länge nach dreifach in der Richtung a b c d e gebogen war. Die Breite der dadurch entstandenen 4 Flächen betrug etwa 6 Zoll, der Abstand jeder einzelnen Fläche 2 Z. Eine Zinkplatte, gleichfalls 20 Z. breit, wurde dann in die Gestalt f g h i k gebogen, und eine gerade Zinkplatte l o durch vier halbrund gebogene Zinkstreifen m, n; m, n mit ihr verbunden, so daſs also alle drei Zinkplatten, mit einander vereinigt, als eine einzige wirkten, und der Apparat sonach als aus zwei Elementen bestehend anzusehen war. Der Zwischenraum der zwischen einander geschobenen Platten betrug einen Zoll. Vom oberen gekrümmten Ende der Zinkplatte g i ging ein 5 Z. langer und 1 Z. breiter Zinkstreifen h q horizontal heraus, endigte in einen Haken, und hatte bei q eine Vertiefung zur Aufnahme von etwas Quecksilber. An den gegenüberstehenden beiden Krümmungen der Kupferplatte b d war ein ähn-

Fig. 60.

1 G. LXXII. 1.

licher Kupferstreifen angelöthet, gleichfalls mit einem Haken und einer Vertiefung bei p. Hiernach waren also p und q die beiden entgegengesetzten Pole des Elektromotors, der ganz in ein kleines Fäſschen von Eichenholz gestellt wurde, welches 20 Maſs, ungefähr 80 ℔ Wasser faſste, und am Boden mit Pech ausgegossen war. Das Metall berührte nirgend die Seitenwand des Fäſschens, und ragte etwa 1 Z. über den Rand desselben empor. Auf das Fäſschen paſste ein cylindrischer Deckel, in der Mitte mit einem 2 F. hohen Rohre zum Abführen des entbundenen Wasserstoffgas versehen, und die beiden Polarstreifen p und q ragten durch zwei Einschnitte im Deckel hervor.

Da eine Menge der interessantesten elektromagnetischen Erscheinungen nur durch groſse Apparate hervorgerufen werden kann, so muſs man allezeit die Frage berücksichtigen, ob die in Vorschlag gebrachten auch in gröſserem Maſsstabe ausführbar sind. Dieses läſst sich allerdings von dem hier beschriebenen behaupten; indeſs muſs ich wegen einer gemachten Erfahrung doch rathen, bei der Ausführung ähnlicher Apparate genau die hier gegebene Vorschrift zu befolgen, wenn man einer bedeutenden Wirkung versichert seyn will. Ich habe nämlich einen ähnlichen Apparat verfertigen lassen, aus 16 Zinkplatten, jede nahe 2 Quadrf. Fläche haltend, welche in einen kupfernen Trog mit eben so viel lothrecht in denselben eingelassenen und nahe 2 Z. von einander abstehenden Kupferplatten herabgelassen wurden, ohne wie sich von selbst versteht, den Boden zu berühren, und so daſs ich mich von dem Getrenntseyn der zwei Metalle durch zwischengesteckte Glasröhren überzeugte. Die Gasentwickelung war auſserordentlich stark, aber die elektromotorische Wirksamkeit unmerklich, und ich kann daher nicht anders glauben, als daſs die in bedeutender Stärke hervorgerufene Elektricität die für ihre zu groſse Erregung zu dünnen Schichten der Flüssigkeit durchdrang. Wahrscheinlich aber lag die Ursache des Miſslingens in dem nicht zweckmäſsig gewählten kupfernen Kasten, welcher den ganzen Apparat einschloſs, und ist daher ein hölzerner, mit Pech ausgegossener, auf allen Fall vorzuziehen.

5. Die mächtigsten Apparate, welche man bisher zur Erzeugung der elektromagnetischen Erscheinungen benutzte, sind die riesenhaft groſsen, welche Robert Hare unter dem Namen

Calorimotor und *Deflagrator* bekannt gemacht hat, einige noch gröfsere im Besitze begüterter Britten und die gröfsten von allen im Royal Institution zu London. Es giebt indefs nur *einen* elektromagnetischen Versuch, welcher einen so kolossalen Apparat erfordert, wenn das Resultat in seiner auffallenden Eigenthümlichkeit hervortreten soll, und weil zugleich diese Apparate am gehörigen Orte ausführlich beschrieben werden[1], so übergehe ich sie hier, um noch die Beschreibung eines sowohl im Kleinen als auch im Grofsen ausführbaren bequemen Apparates hinzuzufügen, welcher mir unter die zweckmäfsigsten zu gehören scheint, und dem von Hare[2] zuerst angegebenen Calorimotor oder noch eigentlicher dem *elektromagnetischen Apparate* von Pepys[3] nachgebildet ist. Um zugleich die Dimensionen und die erhaltenen Wirkungen zu vergleichen, beschreibe ich denjenigen, welchen ich selbst habe ausführen lassen.

Drei Zinkplatten, jede 5 Par. F. lang und 2 F. breit wurden zu einer einzigen langen Platte zusammengeniethet, wobei das Durchschlagen der Niethe die Metalle, wie ich mich überzeugt habe, in so innige Verbindung bringt, dafs kein Zusammenlöthen weiter erforderlich ist. Demnächst wurde die vereinte Platte nach einer in natürlicher Gröfse entworfenen Zeichnung genau in die Spirale $\beta\gamma$ ihrer Länge nach gebogen. Drei gleich hohe, zusammen 17,5 F. lange Kupferplatten wurden auf gleiche Art zusammengeniethet, und in die Spirale $\alpha\delta$ gebogen, und nachdem beide durch ihre eigene Elasticität sich in dieser Form erhielten, wurde die Zinkplatte in die Kupferplatte von oben herab niedergelassen, so dafs ihre Windungen nach der Zeichnung liefen, und durch Biegen, Richten und Schieben in nahe genau 0,5 P. Z. Abstand von einander kamen. Die inneren Windungen bei γ und δ müssen am genauesten gebogen seyn; indefs erhalten sich diese, wenn sie einmal gehörig verfertigt sind, durch ihre Kleinheit am leichtesten in ihrer Form. Um indefs den Abstand der einzelnen Windungen völlig genau zu erhalten, wurde ein für den Abstand von $\gamma\delta$ und die ersten Win-

Fig. 61.

1 S. *Galvanismus.*

2 The American Journ. of Sciences and the Arts. III. 105. u. 345. Vergl. Schweigg. J. XXVI. 321.

3 Phil. Trans. 1823. II. Ann. de Chim. et Ph. XXV. 217.

dungen gearbeiteter Stab in der Mitte hinabgeschoben, zwischen die übrigen Windungen aber im Ganzen 60 tannene Stäbe, 2 F. lang und von 0,5 Par. Z. Seite des quadratischen Querschnittes herabgedrückt, und zuletzt das Ganze mit einem Seile mehrmals umwunden. Als Träger dieser Metallmasse stand eine vom Kübler aus mehreren Stäben nach Art eines Faſsbodens verfertigte, durch eine starke, unterhalb eingelassene Leiste befestigte Scheibe von Eichenholz bereit, in deren Mitte eine Stange a eingelassen war, 2,7 F. lang 1,5 Z. breit und 1 Z. dick. Weil diese bestimmt war, die ganze Last des Metalles zu tragen, so wurden unten an den beiden schmalen Seiten zwei starke Kupferstreifen eingelassen, welche 3 Z. über die Oberfläche der Scheibe hervorragend vermittelst zweier starken Kupferdrähte an die Stange a geniethet, dann durch die Scheibe herabgelassen, unten 2 Z. lang umgebogen und vermittelst kurzer, nicht durch das Holz reichender kupferner Nägel befestigt wurden. Der Halbmesser der Scheibe betrug 0,5 Z. mehr, als die gerade Linie vom Mittelpuncte in a bis nach *a*. Um die Scheibe war ein hölzerner, 0,5 Z. über ihre Fläche hervorragender Reifen gelegt, und sie dann bis zu dieser Höhe mit schlechter Elektrophormasse übergossen, nach deren Erkalten die Metallmasse auf dieselbe herabgelassen, ordentlich gerichtet, und von der Berührung mit dem Stabe a durch vier an derselben herabgedrückte Glasstreifen abgehalten wurde. Damit dann die Metallwindungen in das Pech einschneiden möchten, wurde von oben herab siedendes Wasser hineingegossen, worauf das erwärmte Metall in die erweichte Masse durch sein eigenes Gewicht einsank. Um auch oben den Abstand der Windungen bleibend zu erhalten, wurden zwei hölzerne Stäbe 0,5 Z. breit und 1,3 Z. hoch in 2 Zoll Abstand von der Stange a mit einander parallel quer übergelegt, für die Metallränder mit der Säge 0,5 Z. tief eingeschnitten, dann herabgedrückt, endlich wurden der hölzerne Reifen, das Seil und die zwischengeschobenen Stäbe weggenommen, und der Apparat war so weit fertig.

Um denselben bequem in einen eichenen, nach oben etwas erweiterten, unten genau die tragende Scheibe fassenden, mit drei kupfernen Reifen beschlagenen Behälter der Flüssigkeit herabzulassen, war oben an der Stange a eine kupferne Klammer vermittelst zweier Niethen befestigt, welche einen kupfernen Ring trug, in welchen der Haken des hebenden Flaschenzuges ge-

hängt werden kann. Damit aber der unerträgliche Einfluſs des entwickelten Gas vermieden werde, ruhet auf den oberen eingeschnittenen parallelen Stäben ein Deckel, welcher den etwas über das Metall hervorragenden Behälter genau verschlieſst, und das gebildete Gas durch ein krummgebogenes, aus dem Fenster geleitetes Rohr entweichen läſst. Durch den Deckel sind endlich zwei an die Enden α und β angelöthete, aufrecht stehende, über dem Deckel rechtwinklich umgebogene und zu Schälchen vertiefte Kupferstreifen angelöthet, welche zur Aufnahme von etwas Quecksilber, oder auch zum Anlöthen längerer Drähte dienen.

Die Wirkung dieses allerdings groſsen, aber bequemen Apparates, welcher ohne Schwierigkeit von einem Manne vermittelst des Flaschenzuges aus der Säure in die Höhe gezogen und in dieselbe herabgelassen werden kann, hat mich nur in einer Hinsicht befriedigt. Es war nämlich seine Kraft des Verbrennens der Metalle nicht stärker, als bei einer mäſsigen Säule, die elektromagnetische dagegen war so stark, daſs ein Messingdraht von 1,5 Lin. Durchmesser bei einer allmälig steigenden Hitze, welche das Halten mit den Fingern nicht zulieſs, einen Cylinder von Eisenfeilicht bis zur Dicke einer halben Linie um sich bildete. Die gebrauchte Säure bestand aus Wasser mit etwa ein Sechzigtheil englischer Schwefelsäure und halb so viel rauchender Salpetersäure dem Volumen nach. Reines Regenwasser gab eine sehr sichtbare Abweichung der Magnetnadel, und eine spätere Verdünnung der gebrauchten Säure durch $\frac{1}{7}$ Wasser schwächte die Wirkung nicht merklich. Verdünnte Schwefelsäure konnte ich wegen noch nicht hergestellter Gasableitung bis jetzt nicht versuchen. Uebrigens stimmen diese Beobachtungen ganz mit denen überein, welche auch Pepys gemacht hat, und es geht daraus hervor, daſs solche Apparate die elektromagnetischen Erscheinungen in groſser Stärke zeigen, für chemische Wirkungen dagegen und auch zum Verbrennen der Metalle wenig geeignet sind. Rücksichtlich des Letzteren scheint es der groſsen Menge von erregter E. an der erforderlichen Kraft zu fehlen, um schlechtere Leiter zu durchdringen, denn ein Messingdraht von 1,5 Lin. Durchmesser wurde so heiſs, daſs man ihn nicht mit den Fingern halten konnte, ein Platindraht von 0,2 Lin. Durchmesser wurde dagegen nur warm.

Indeſs habe ich die Versuche nicht oft genug wiederholt, um hierüber bestimmt entscheiden zu können.

B. Feuchte Leiter.

Die so eben beschriebenen, und überhaupt alle zur Erzeugung elektromagnetischer Wirkungen dienenden Volta'sche Apparate bedürfen eines feuchten Zwischenmittels. Nun werden zwar diese elektromagnetischen Erscheinungen, wenn man die geringsten Einwirkungen auf die Bewegung der feinsten Nadeln mitrechnet, durch die verschiedensten galvano-elektrischen Zustände der Körper hervorgebracht; allein wenn wir uns nicht in das Gebiet des Galvanismus verirren wollen, so gehören alle diejenigen Untersuchungen nicht *zunächst* zum Elektromagnetismus, bei denen man sich der höchst beweglichen Magnetnadeln bedient, um von ihrer Bewegung auf das Vorhandenseyn der Elektricität zu schlieſsen. Rücksichtlich auf den *Elektromagnetismus* an sich darf man es nur im Allgemeinen als Thatsache aufstellen, daſs die Stärke, worin derselbe hervorgerufen wird, der Intensität der erzeugten Elektricität proportional ist. Eben daher kann hier auch die Frage nicht erörtert werden, ob die Stärke des erzeugten Elektromagnetismus durch die chemische Einwirkung der feuchten Leiter auf die Metallplatten bedingt werde, indem dieses vielmehr von der Beantwortung der Frage abhängt, ob die im Volta'schen Apparate erzeugte Elektricität durch den Chemismus der bei ihnen angewandten Metalle und feuchten Leiter erzeugt oder verstärkt wird. Weil daher alle diese nicht leichten Untersuchungen hier unerörtert bleiben müssen, so kommt zunächst in Beziehung auf das Praktische bei der Anstellung der Versuche nur *die* Frage in Betrachtung, *welcher Flüssigkeiten man sich am besten bedienen kann, um die elektromagnetischen Erscheinungen leicht und in gröſster Stärke hervorzurufen.*

Wenn man aus den vielen Versuchen, welche zunächst in dieser Absicht angestellt sind, und aus den gelegentlich mitgetheilten Angaben über die angewandten feuchten Leiter die Hauptresultate heraushebt, so sind folgende Flüssigkeiten für diesen Zweck am geeignetsten.

1. *Verdünnte Schwefelsäure,* welche neben ihrem geringen Preise zugleich fast die stärksten Wirkungen hervorbringt, die gebrauchten Metalle nicht sehr beschmutzt, so daſs sie leicht

gereinigt werden können, und das Zinn der Löthung nicht angreift. Eine grofse Unbequemlichkeit derselben ist indefs die allezeit bedeutende Gasentwickelung, desgleichen das allmälige Verzehrtwerden des Zinkes, welches bei anhaltenden Versuchen so stark ist, dafs die Apparate bald unbrauchbar werden. Ueber das beste Verhältnifs der Mischung von Wasser und Schwefelsäure sind die Beobachter nicht einig. Poggendorff erhielt die stärkste Wirkung bei einer Verdünnung der Schwefelsäure von 184° mit etwa 3 Th. Wasser; Seebeck[1] durch Schwefelsäure von 1,845 sp. Gew. mit 2 Th. Wasser verdünnt; Pfaff[2] mit englischer Schwefelsäure und 4 Th. Wasser. Es scheint mir bei dieser Bestimmung zugleich die Gröfse der gebrauchten Apparate einen Unterschied zu machen, indem ich aus verschiedenen Versuchen, namentlich mit dem oben Nr. 5. beschriebenen Apparate schliefsen zu müssen glaube, dafs bei grofsen Apparaten die Menge der erzeugten Elektricität sich durch die concentrirbaren Säuren wegen der vollkommneren Leitung zu leicht einen Weg bahnt, als dafs sie hinlänglich wirksam seyn könnte.

2. *Gesättigte Salmiakauflösung* wirkt nach Pfaff[3] fast eben so stark als die beste Mischung von Schwefelsäure und Wasser, womit Poggendorff übereinstimmt. Ihre Wirksamkeit ist aufserdem länger dauernd, als die der Säuren, auch kann man die schon gebrauchte, von etwas Schmutz durch ruhiges Stehenlassen leicht zu reinigende Flüssigkeit stets wieder benutzen, wenn man die unter Nr. 2 bis 5 beschriebenen Apparate gebraucht. Indefs hat sie die Nachtheile, dafs sie das Zinn der Löthung zerfrifst, Kupfer und Zink sehr beschmutzt, wovon ersteres mit verdünnter Schwefelsäure leichter, letzteres aber nur durch starkes Scheuern mit Sande mühsam gereinigt werden kann. Für grofse Apparate ist diese Substanz aufserdem kostbar.

3. *Gesättigte schwefelsaure Zinkauflösung* ist hauptsächlich durch Pfaff[4] empfohlen, welcher ihre Wirkung der durch die beste Mischung von Schwefelsäure und Wasser gleichsetzt,

1 Berliner Denkschriften für 1820 –21. S. 311.
2 Der Elektromagnet, S. 81.
3 a. a. O.
4 a. a. O. S. 84.

und ihre chemische Wirkung = 0 annimmt. Um dieses zu prüfen, habe ich die Versuche mit einem kleinen kupfernen Kasten von 5 Z. Höhe, 6 Z. Breite und 1 Z. Tiefe wiederholt, und dabei gefunden, daſs das käufliche schwefelsaure Zink etwas verunreinigendes Kupfer auf der Zinkplatte absetzt. Auch das reine schwefelsaure Zink setzt mit der Zeit merklichen Schmutz auf der Zinkplatte ab, und es entwickeln sich an dieser nicht wenige Luftblasen. Die Wirkung ist anfangs der durch verdünnte Schwefelsäure erzeugten nahe gleich, nimmt aber nach 4 Stunden bleibender Schlieſsung der Kette bedeutend ab, und ist nach 24 Stunden fast ganz verschwunden. Gegen die Behauptung aber, daſs elektromagnetische Wirkungen ganz ohne chemische Thätigkeit stattfinden sollen, streiten sehr bestimmt die Versuche von Pouillet[1], wonach Nadeln aus nicht oxydirbaren Metallen in Theile des thierischen Körpers gesenkt und mit einem Multiplicator verbunden, gar keinen Einfluſs auf die Magnetnadel zeigen, welcher dagegen bei Anwendung von rostenden stählernen sogleich zum Vorschein kommt. Eine Erörterung dieser Frage gehört nicht hierher.

4. *Gesättigte schwefelsaure Kupferauflösung* soll nach Pfaff[2] unter allen von ihm versuchten Flüssigkeiten die stärkste Wirkung geben. Indeſs ist diese Substanz theuer, und setzt sehr bald einen starken Ueberzug von Kupfer auf der Zinkplatte ab, wodurch ihre weitere Wirksamkeit aufgehoben wird. Beide genannte Flüssigkeiten können daher keineswegs dazu gebraucht werden, um die Elektromotoren in stets fortdauernder Thätigkeit zu erhalten, wie man auf den ersten Blick wohl anzunehmen geneigt seyn könnte.

5. Sonst gebraucht man noch *Salpetersäure*, allein diese greift das Metall heftig an, und übertrifft hinsichtlich ihrer Wirkung die Schwefelsäure nicht. Viele bedienen sich auch einer *Mischung von Salpetersäure, Schwefelsäure und Wasser*. Davy[3] nahm bei den Versuchen, welche er zur Erzeugung einer mächtig wirkenden Elektricität anstellte, eine Mischung aus 1168 Th. Wasser, 108 Th. Salpetersäure und 25 Th. Schwefelsäure. Eine ähnliche Mischung habe ich verschiedentlich

---

1 Magendie Journal de Physiol. V. 1.

2 a. a. O.

3 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 244.

bei dem oben (II. A. 1.) beschriebenen Apparate angewandt und mit zwei Platten, deren jede nur 18 Z. Seite hatte, sehr starke Wirkungen erhalten. Sie gewährt außerdem den großen Vortheil, daſs man den unangenehmen Einfluſs des zinkhaltigen Wasserstoffgas auf die Lungen vermeidet. Für jenen Apparat scheint mir daher, ungeachtet der heftigen Wirkung auf das nicht kostbare Zink, die Anwendung dieser Mischung bei weitem am vorzüglichsten zu seyn. Beim Gebrauche des großen Apparates (II. A. N. 5.) war der Geruch nicht unerträglich, es stieg viel Salpetergas auf, dessen Einfluſs auf die Respiration aber leicht vermeidlich ist. Wenn man sich also solcher Apparate bedient, bei denen der Zink nur so lange mit der Säure in Berührung bleibt, als man die elektromagnetischen Erscheinungen beobachten will, welches fast in allen Fällen nur eine kurze Zeit geschieht, und daher keine bedeutende Abnutzung der Zinkplatten herbeiführt, so gebührt dieser letzterer Flüssigkeit ohne Streit der Vorzug vor allen übrigen, weil sie die stärksten Wirkungen giebt, und auch bei großen Apparaten den unerträglichen und gefährlichen Einfluſs auf die Respiration nicht verursacht, welcher bei der Anwendung der verdünnten Schwefelsäure unvermeidlich ist.

C. Die Leiter der Elektricität.

Die elektromagnetischen Wirkungen werden hervorgebracht durch denjenigen Leiter der Elektricität, welcher dieselbe vom positiven Pole zum negativen überführt, also im Allgemeinen durch die Metalldrähte, welche die Verbindung beider im Conflicte befindlicher Metalle bilden, bei den gewöhnlichen Maschinen aber die erregte Elektricität bloſs leiten oder zur Entladung der Flaschen dienen. Ueber die letzteren genügt es zu bemerken, daſs man bekanntlich hierzu Messing- oder Kupferdraht nimmt, dessen Stärke übrigens nicht wesentlich in Betrachtung kommt, vorausgesetzt, daſs der elektrische Strom denselben nicht zu zerstören vermag. In Betreff der ersteren kommt sowohl die Länge als auch die Dicke und die elektrische Leitungsfähigkeit der angewandten Metalldrähte in Betrachtung. Weil aber den Versuchen zufolge die auf diese Weise erzeugten elektromagnetischen Wirkungen der Menge der durch die Drähte strömenden Elektricität direct proportional sind, so gehört die Untersuchung über das Verhalten der verschiedenen Drähte in

dieser Hinsicht unter den Artikel *Elektricität*, und rücksichtlich auf den *Elektromagnetismus* genügt es, Folgendes im Allgemeinen anzugeben.

a. DAVY's[1] interessante und entscheidende Versuche über die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalldrähte bleiben hier ganz unerörtert, und es folgt aus denselben für unseren Zweck nur so viel, dafs man bei mächtigen Apparaten Drähte wählen mufs, deren Stärke ein zu starkes Glühen derselben hindert, in welchem Falle sie die gesammte Menge der erzeugten Elektricität ungehindert fortleiten[2]. Für die angegebenen kleinen Kasten und einzelne Scheiben genügen in der Regel die feinsten Claviersaiten.

b. Inzwischen geht doch aus den Versuchen von POGGENDORFF, BOECKMANN und DAVY, wonach die elektrische Leitungsfähigkeit der Drähte bei gleicher Länge ihrer Dicke direct proportional ist, und meinen eigenen genugsam hervor, dafs sehr feine Drähte auch bei gleicher Stärke des gebrauchten Elektromotors geringere Wirkungen geben, als dickere. So erhielt ich bei der Anwendung eines Kastens von 6 Z. Länge 4,1 Z. Höhe und 1 Z. Tiefe mit einem Silberdrahte von $\frac{1}{36}$ Lin. Durchmesser 5°; mit einem von $\frac{1}{18}$ L. 7°; mit einem Messingdrahte von $\frac{1}{8}$ Lin. 8°,5; mit einem solchen von 1,2 Lin. 10° Abweichung der Magnetnadel. Wird der Draht bedeutend dicker, so nimmt die Wirkung wieder ab, denn ein Messingdraht von 2,9 Lin. gab nur 9°, und ein Bleicylinder von 34 Lin. nicht mehr als 8°,5. Die Nadel war in allen Versuchen 20 Lin. von der geometrischen Axe der gebrauchten Leiter entfernt, und auch die feinsten Drähte wurden nicht glühend[3].

c. Die Länge der leitenden Drähte macht nach v. YELIN[4] innerhalb mäfsiger Grenzen keinen Unterschied, denn ein Draht

---

1 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 241 ff.

2 Ich habe gefunden, dafs bei sehr grofsen Apparaten, wie bei dem oben II. A. 5. beschriebenen, dünne Drähte nicht so leicht heifs werden, als dicke, vermuthlich weil nicht genug Elektricität durch sie strömt, und ihre verhältnifsmäfsig gröfsere Oberfläche eine leichtere Abkühlung gestattet.

3 G. LXXI. 423. Aehnliche Resultate haben BARLOW S. Edinb. Phil. Journ. XXIII. 112. und CUMMING S. Transact. of the Cambridge Phil. Soc. for. 1821 erhalten.

4 G. LXVI. 324.

von 6 F. und ein anderer von 1,5 F. Länge zeigten gleiche Wirkungen. Inzwischen beruhet dieser Satz auf den Resultaten solcher Versuche, worin der gebrauchte Draht die durch die beiden Metalle erregte Elektricität mehr als vollständig fortzuleiten vermochte, und stimmt insofern mit vielen Erfahrungen anderer überein. Weil aber H. Davy[1] gefunden hat, daſs die Leitungsfähigkeit eines Drahtes seiner Länge umgekehrt proportional ist, indem z. B. 3 Z. Platindraht von $\frac{1}{110}$ Z. Dicke die Elektricität von 20 Plattenpaaren zu leiten vermochten, wenn 6 Z. die von nur 10 Plattenpaaren leiteten, so folgt hieraus, in Verbindung mit dem andern oben erwähnten Satze, wonach die Stärke der elektromagnetischen Wirkung der Menge der durch den galvanischen Leiter strömenden Elektricität proportional ist, daſs auch die elektromagnetische Kraft der Länge der Leitungsdrähte dann umgekehrt proportional ist, wenn sie die erregte Elektricität gerade vollständig zu leiten vermögen.

C. H. Pfaff[2] beweiset durch eine Reihe von Versuchen, welche mit Multiplicatoren von vielfachen Windungen angestellt wurden, daſs bei einer gegebenen Dicke des Leitungsdrahtes die Länge desselben bis zu einer Gröſse vermehrt werden kann, bei welcher eine vollständige Durchströmung der erregten Elektricität durch denselben nicht mehr statt findet. Am entscheidendsten sind aber die Versuche, welche Barlow[3] absichtlich zur Beantwortung dieser Frage angestellt hat, und aus denen mit fast vollständiger Uebereinstimmung folgt, daſs die Tangenten der Abweichungen, welche gleiche Magnetnadeln bei gleichem Abstande unter oder über den galvanischen Leitungsdrähten von verschiedener Länge zeigen, den Quadratwurzeln aus den Längen umgekehrt proportional sind. Bezeichnet man also den Abweichungswinkel bei einer Länge = l des galvanischen Leiters durch v, bei einer Länge = L aber durch v', so ist

$$\text{tang } v' = \text{tang } v \sqrt{\frac{l}{L}}$$

Die Länge und die Dicke der Metalldrähte also, welche die

1 a. a. O.

2 Der Elektromagnetismus u. s. w. S. 109. Aehnliche Versuche von Seebeck S. Berlin. Denkschr. 1820—21. S. 318 ff.

3 Edinburgh Phil. Journ. XXIII. 105.

Pole der Volta'schen Säule verbinden, bedingen die Stärke der elektromagnetischen Wirksamkeit auf die Nadel mit Rücksicht auf ihr elektrisches Leitungsvermögen, welches letzteres dann wieder nach Davy blofs durch die Masse, nicht aber durch die Gröfse der Oberfläche bedingt ist.

d. In der Regel bedient man sich zu den elektromagnetischen Versuchen *cylindrischer Leiter* von Metall, deren Dicke der Menge der durchströmenden Elektricität proportional gewählt wird, und wozu Kupferdrähte (sogenannte silberne Claviersaiten) wegen ihrer Biegsamkeit und Stärke am besten geeignet sind. In der Hauptsache ist es indefs gleichgültig, ob statt deren *Metallstreifen* oder *hohle Röhren* gewählt werden, indem der Unterschied in den Erscheinungen, welche sie zuweilen darbieten, durch anderweitige Ursachen herbeigeführt wird[1].

e. Dafs endlich auch die *Beschaffenheit des Metalles* bei gegebener Dicke und Länge der Drähte auf die elektromagnetische Wirksamkeit einen Einflufs haben müsse, liegt in der Natur der Sache. Allein auch hier fällt diese mit der Leitungsfähigkeit für die Elektricität zusammen, in welcher Hinsicht Davy[2] sie in folgender Ordnung vom besten Leiter anfangend an einander reihet: *Silber*, *Kupfer*, *Blei*, *Gold*, *Zink*, *Zinn*, *Platin*, *Palladium*, *Eisen*. Hiermit stimmen die durch v. Yelin[3] erhaltenen Resultate im Allgemeinen überein. Sind die Pole der Säule durch mehrere Leiter verbunden, so wird der Elektromagnetismus sich in dem kürzesten und besten Leiter in ungeschwächter Stärke zeigen, wenn derselbe alle Elektricität vollständig überzuführen vermag, durch bedeutende Vermehrung der Länge des letzteren aber, wenn er allein die Verbindung der elektrischen Pole macht, und z. B. mit einem Multiplicator von 100 Windungen verbunden ist, nach Pfaff[4] geschwächtere Wirkungen zeigen. Letzteres wird auch nach Poggendorf[5] dann der Fall seyn, wenn der Verbindungsdraht durch einen schlechteren Leiter der Elektricität, als *Graphit*, *Kohle*, *Schwe-*

---

1 Vergl. unten III. A. 4. u. 9.

2 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 250 ff.

3 G. LXVI. 324.

4 Der Elektromagnetismus S. 91.

5 Ebend. S. 92.

felkies u. dgl. unterbrochen ist; ein künstlicher Magnet, wie groſs auch seine Stärke seyn mag, ist in diesem Falle von *keinem* Einflusse. Auf gleiche Weise endlich werden auch flüssige Körper, welche den Verbindungsdraht unterbrechen, die elektromagnetischen Wirkungen um so mehr schwächen, je weniger und unvollkommener sie der Elektricität den Durchgang verstatten. Pfaff[1] hat sich sehr zweckmäſsig des Elektromagnetismus bedient, um unter dieser angegebenen Voraussetzung die elektrische Leitungsfähigkeit der verschiedenen Flüssigkeiten zu prüfen.

f. Es läſst sich hier noch eine Frage aufwerfen, welche bisher noch nicht in ihrem ganzen Umfange beantwortet, und überhaupt schwer zu beantworten ist, nämlich ob und in welchem Grade auch andere Substanzen, auſser den Metallen, in den Strom der galvanischen Elektricität gebracht, elektromagnetische Wirkungen zeigen. So interessant die Frage auch ist, so stehen einer Beantwortung derselben doch fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, weil die Strecken, durch welche der Strom in der Flüssigkeit oder dem zu untersuchenden Körper geleitet wird, so lang seyn muſs, daſs man gegen den Einfluſs der verbindenden Metalldrähte auf die Magnetnadel gesichert ist. Der Analogie nach und in Gemäſsheit der hierüber angestellten Versuche darf man mit Grunde schlieſsen, daſs in allen solchen Körpern nur geringe magnetische Kräfte hervorgerufen werden, welche die Elektricität unvollkomman und in geringer Menge durch sich hindurchlassen. Hierbei ist der Zustand der Festigkeit oder der Flüssigkeit von gar keinem Einflusse; denn Glasröhren mit Quecksilber oder Rose'schem Metalle gefüllt setzten die Magnetnadel nach Davy[2] in starke Bewegung. Derselbe fand, daſs Kohle, als schlechter elektrischer Leiter, nur dann einige Wirkung auf die Magnetnadel äuſserte, wenn sie den metallischen Verbindungsdraht in einer groſsen Fläche berührte, ein feiner Draht aber, durch ein Stück Kohle mit dem Leiter der galvanischen Elektricitat verbunden, zog auch bei der Einwirkung einer mächtigen Batterie kein Eisenfeilicht an, wenn er die Kohle unmittelbar berührte, sehr wenig aber wenn das Ende der Kohle mit einem Platinblech belegt und durch

1 Der *Elektromagnetismus* S. 96.

2 Phil. Trens. 1821. II.

dieses die Verbindung hergestellt war. Davy konnte es ferner nie dahin bringen, dafs einer der besten galvanischen Leiter, nämlich geschmolzenes Kalihydrat Eisenfeilicht anzog, und damit getränkte Baumwollenfasern wurden von einem Magnete gar nicht angezogen. Stahlnadeln, welche vermittelst Kork auf Kaliauflösung schwammen, nahmen durchaus keine Polarität an, wenn der elektrische Strom durch diese Flüssigkeit geleitet wurde, und der einzige Beweis, dafs sich auch in ihr Magnetismus entwickele, lag in dem Einflusse derselben auf die Magnetnadel in dem Falle, wenn eingetauchte Metallflächen von bedeutender Ausdehnung sie mit der Volta'schen Batterie verbanden. Die Anziehung des Eisenfeilicht gehört indefs schon unter die bedeutendsten elektromagnetischen Wirkungen, welche sehr starke Elektromotoren und eine gute Leitungsfähigkeit des Körpers voraussetzen. Dafs übrigens Flüssigkeiten, wenn ein Strom galvanischer Elektricität sie durchströmt, die Magnetnadel in Bewegung setzen, wurde gleich anfangs durch Seebeck[1] beobachtet, und nach Grotthuss[2] geschieht dieses sogar durch einen mit Salzwasser hinlänglich getränkten Bindfaden. Diese übereinstimmenden Resultate führen also auf allen Fall zu der wichtigen Folgerung, dafs nicht blofs die Metalle, sondern auch andere feste und flüssige Körper zur Erzeugung des Magnetismus vermittelst der Elektricität geeignet sind, wenn diese anders in genügender Menge dieselben zu durchströmen vermag. Dieser Schlufs läfst sich gar nicht oder nur unvollkommen auf die durch Poggendorf[3] erhaltene Beobachtung gründen. Dieser legte nämlich die Zink- und die Kupferplatte in 6″ Entfernung von einander, bedeckte jede durch eine mit Salmiaklösung getränkte Tuchscheibe, und verband diese durch einen breiten, gleichfalls in Salmiakauflösung getauchten Streifen Tuch. Unter letzteren stellte er eine empfindliche Magnetnadel, und schlofs dann die Kette durch einen Multiplicator von 100 Windungen und gleichfalls mit einer Nadel versehen. Letztere zeigte eine merkliche Abweichung, erstere aber gar keine, ohne Zweifel deswegen, weil die geringe Menge der durchströmenden Elektricität hierzu nicht kräftig genug war, und erst eines

1 Berliner Denkschr. a. a. O. S. 383.
2 Allgem. Nord. Annalen VI. 146.
3 Pfaff: der Elektromagnetismus. S. 95.

Multiplicators bedurfte, um merkliche Wirkungen zu zeigen. Außerdem wurde die elektromagnetische Wirkung durch die Breite des Tuchstreifens geschwächt, indem auch breite metallene Leiter einen geringeren Einfluſs auf die Magnetnadel ausüben.

Will man diese interessante Frage abermals zum Gegenstande neuer Versuche machen, so ist an sich klar, daſs dazu kein aus zwei Elementen bestehender Apparat gewählt werden darf, weil die Spannung der Elektricität in diesem auf allen Fall zu geringe ist, um die nicht metallenen Leiter auf eine so groſse Länge zu durchdringen, daſs die Wirkung derselben auf die Magnetnadel mit genügender Sicherheit beobachtet werden könnte, und nur Säulen aus vielen Plattenpaaren sind hierzu geeignet. Als unbedeutenden Probeversuch benutzte ich selbst eine stehende Zink-Kupfersäule aus 36 zusammengelötheten Doppelplatten von 6 Z. Seite und 96 solchen von 5 Z. S. mit Salmiakwasser aufgebauet, um das Verhalten einiger flüssiger Leiter auf die Magnetnadel zu prüfen. Eine feine Magnetnadel erhielt hierbei über Glasröhren 4 Z. lang und 0,3 Z. weit mit concentrirter Schwefelsäure, mit rauchender Salpetersäure und mit gesättigter Kochsalzsolution gefüllt, die Enden durch Platindrähte in den Kreis der Säule gebracht, so starke Abweichung, daſs sie nur wenig geringer war, als über einem die Pole verbindenden Platindrahte.

Nach allen diesen Versuchen muſs ich schlieſsen, daſs der Magnetismus in allen Körpern, durch welche die Elektricität strömt, mit einer der Intensität und Leichtigkeit dieser Durchströmung proportionalen Stärke hervorgerufen wird. Eben hieraus ergiebt sich aber, daſs einige Erscheinungen, z. B. das Anhängen des Eisenfeilicht nur an vollkommenen Leitungsdrähten beobachtet werden können, weil nur diese der groſsen Menge mit geringer Spannung versehener Elektricität zweielementiger Elektromotoren eine hinlängliche Leitung darbieten.

g. Auch die Luft, oder vielmehr der die Luft durchdringende elektrische Strom, wenn nicht eigentlicher die durch den elektrischen Strom fortgeführte Flamme ist als ein elektromagnetischer Leiter anzusehen, und zeigt in dieser Hinsicht Wirkungen, welche später genauer angegeben werden sollen[1].

---

1 Vergl. III. C. 17.

h. Wird der galvanische Leiter, auch der vollkommene, durch einen nach Verhältnifs der elektrischen Spannung unvollkommenen unterbrochen, z. B. Wasser, den thierischen Körper u. dgl., so verliert er seine elektromagnetische Kraft ganz oder zum Theil[1].

Die durch ein einziges Plattenpaar, wie grofs dasselbe auch seyn mag, hervorgebrachte galvanische Elektricität hat eine geringe Spannung, und durchdringt daher die Nichtleiter oder schlechten Leiter derselben nur unvollkommen oder gar nicht. Soll daher dieser Strom nicht unterbrochen werden, so müssen alle solche schlechte Leiter, wie dann sie auch seyn mögen, sorgfältig vermieden werden. Es genügt daher nicht, wie bei der Reibungs-Elektricität, sich der Ketten zur Verbindung zu bedienen, weil eine dünne Lage Oxyd oder Schmutz leicht die innige Berührung hindern kann, auch mufs man die Metalle, welche man in den Strom der Elektricität bringt, an den Stellen ihrer Berührung recht blank schaben. Das einfachste und sicherste Mittel, eine innige und ungehinderte Verbindung hervorzubringen, ist das Quecksilber, welches man in kleine Vertiefungen giefst, und die blank geschabten Enden der Metalldrähte, oder Streifen in dieses einsenkt. Oft genügt es auch schon, nur ein kleines Tröpfchen Quecksilber zwischen die Flächen zweier Metallstreifen zu bringen, durch welche der elektrische Strom ungehindert fortgeleitet werden soll. Weil aber das Metall auch in diesem Falle leicht mit Schmutz überzogen wird, und hierdurch die Fortleitung des elektrischen Stromes geschwächt oder ganz gehindert werden kann, so ist es nach Ampère[2] rathsam, allezeit vor dem Gebrauche des Apparates die Metallflächen etwas abzukratzen, damit die Verbindung derselben mit dem Quecksilber inniger werde. Für diejenigen Fälle endlich, in denen die Verbindung durch Quecksilber auf die angegebene Art nicht hergestellt werden kann, wenn z. B. der elektrische Strom durch zusammengeschlungene Drähte geleitet werden mufs, bedient man sich nach Faraday[3] des Mittels, sie mit etwas salpetersaurem Quecksilber

1 S. Boisgiraud in Ann. Ch. Ph. XV. 279.
2 Ann. Ch. P. XXVI. 392.
3 G. LXXII. 114.

zu reiben. Eisen und Stahl kann vorher in schwefelsaurer Kupfersolution mit etwas Kupfer überzogen werden.

Ungleich zahlreicher, als die wenigen jetzt beschriebenen elektromotorischen Apparate, sind diejenigen, vermittelst deren man die verschiedenen elektromagnetischen Erscheinungen beobachtet hat. Indem aber bei weitem der gröfste Theil derselben für gewisse individuelle Phänomene construirt ist, so scheint es mir am zweckmäfsigsten, sie bei der Erörterung dieser letzteren zugleich mit zu beschreiben.

III. Elektromagnetische Erscheinungen.

Die elektromagnetischen Erscheinungen sind ungemein zahlreich, und vermöge des lebhaften Interesses, welches sie erregten, und der grofsen Zahl derjenigen Experimentatoren, welche sich lange Zeit damit beschäftigten, ohngeachtet der Neuheit ihrer Entdeckung so unglaublich vervielfacht und so mannigfaltig modificirt, dafs es in der That Mühe kostet, dieselben zu ordnen und dadurch die Sache selbst in einer klaren Uebersicht darzustellen. Genau genommen lassen sich indefs die gesammten Phänomene füglich auf das zuerst entdeckte Hauptphänomen zurückbringen, nämlich dafs *der Pol eines Magnetes, also auch die Spitze einer Magnetnadel um den Leitungsdraht der galvanischen Elektricität rundum bewegt wird.* Hierbei ist der Leitungsdraht der Elektricität unbeweglich, und die gemeinen, auf feinen Spitzen beweglichen Declinations- und Inclinationsnadeln zeigen dieses Gesetz zwar sehr leicht, aber nur unvollständig, indem eine vermöge der Art ihrer Befestigung nur in horizontaler Ebene bewegliche Nadel nur in dieser, und eine blofs in verticaler Ebene bewegliche gleichfalls nur in dieser bewegt werden kann. Ist dagegen der Pol eines Magnetes fest, der Leitungsdraht der Elektricität aber beweglich, so wird *letzterer je nach den bedingenden Umständen sich in horizontaler oder verticaler Ebene bewegen, oder um den magnetischen Pol herumlaufen.* So gut aber der natürliche und künstliche Magnet dem *Einflusse des Erdmagnetismus* unterworfen ist, mufs dasselbe auch mit dem *magnetisch gemachten Leitungsdrahte* der Elektricität der Fall seyn, und eben so müssen *zwei solche Drähte einen analogen Einflufs auf einander ausüben, als welcher zwischen zwei Magneten* statt findet. Endlich mufs

der auf magnetischen Stahl einwirkende Leitungsdraht seine magnetische Kraft auch gegen *unmagnetisirten Stahl und Eisen* äufsern, wenn anders der Magnetismus desselben identisch ist mit demjenigen, welcher sonst mit diesem Namen bezeichnet wird. Wäre er letzteres nicht, so würde dieses die Untersuchung ausnehmend erschweren, indem dann im Elektromagnetismus eine bisher ganz unbekannte Potenz zum Vorschein käme. Indeſs ist dieses nicht der Fall, da der Leitungsdraht vielmehr Eisenfeilicht anzieht, und Stahl magnetisch macht, sich also als einen wirklichen Magnet zeigt.

Diese wenigen Sätze müssen aus theoretischen Gründen alles dasjenige in sich begreifen, was der Elektromagnetismus leisten kann, wenn man darunter den durch Elektricität hervorgerufenen Magnetismus versteht. Wirklich läſst sich auch bei weitem der gröſste Theil der Phänomene unmittelbar hierauf zurückführen, und die übrigen, bei denen dieses auf den ersten Blick der Fall nicht zu seyn scheint, reihen sich doch bei genauerer Untersuchung der einen oder andern dieser angegebenen Classen an. Ich werde mich daher bemühen, die Erscheinungen, welche zum Elektromagnetismus gehören, in ihrer einfachsten Gestalt darzustellen, dabei diejenigen Gelehrten namhaft machen, welche die einzelnen derselben zuerst entdeckten, nebenbei auf die spätern Untersuchungen und genaueren Erörterungen der schon bekannten Phänomene verweisen, und unter der groſsen Menge der mannigfaltigen Apparate nur diejenigen beschreiben, welche den beabsichtigten Zweck zu erreichen dienen können, ohne zugleich zu kostbar oder zu sehr zusammengesetzt zu seyn, damit auch minder geübte Künstler sie verfertigen können, und die Kosten ihrer Anschaffung mäſsige Summen nicht übersteigen.

A. Wirkungen des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel.

1. Wenn man den Verbindungsdraht der Elektromotoren im magnetischen Meridiane *über* der Axe der ruhenden Magnetnadel mit dieser in einer verticalen Ebene ausspannt, so daſs der elektrische Strom vom Kupfer ausgehend von Norden nach Süden strömt, so wird im Augenblicke der Schliessung des elektrischen Kreislaufes der Nordpol der Nadel nach Osten abweichen. Die Abweichung wird durch die Oscillation der Nadel

im Momente der Schliefsung stärker, ihre Gröfse aber hängt im Allgemeinen von der Stärke des elektromotorischen Apparates ab, und erreicht auf allen Fall für den Zustand der Ruhe bei einem Winkel von 90° ihr Maximum. Ein Plattenpaar von 4 bis 6 Z. Seite, im Maximo seiner Wirksamkeit, bringt eine leichte 2 bis 3 zöllige Nadel schon zum Durchlaufen eines ganzen Kreises. Ist dagegen der Draht in der angegebnen Richtung *unter* der Nadel ausgespannt, so ist die Abweichung gleich stark westlich. Lässt man die elektrische Kette geschlossen, so kommt in beiden angegebenen Fällen die Nadel nach einigen Oscillationen zur Ruhe, behält aber auch dann eine der Stärke des Elektromotors proportionale Abweichung von 5; 10 bis 30 Graden und noch darüber. Ist die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte, so sind die Abweichungen der Magnetnadel zwar gleich stark, aber den eben angegebenen entgegengesetzt, und indem diese Umkehrung der Erscheinungen allgemein statt findet, so ist es überflüssig, derselben in jedem einzelnen Falle besonders zu gedenken[1]. Die angegebenen Erscheinungen werden nicht abgeändert, wenn man den Leitungsdraht vor seiner horizontalen Ausspannung über oder unter der Nadel, oder auch bei seiner Zurückführung zum Zinke in die vielfachsten Schleifen und Biegungen windet, und bald rückwärts bald vorwärts hin und her führt, ein allerdings höchst merkwürdiger Umstand, welcher beweiset, dafs durch alles dieses keine Störung weder des elektrischen Stromes noch der erzeugten magnetischen Wirksamkeit entstehen kann. Führt man dagegen den elektrischen Leitungsdraht in einer horizontalen Ebene und parallel mit der Axe der Magnetnadel neben ihr hin, sowohl an jeder der beiden Seiten derselben als auch den Strom der Elektricität von Nord nach Süd angenommen oder umgekehrt, so wird in keinem dieser vier Fälle, mindestens bei nicht zu grofsen Apparaten und bei Declinationsnadeln, welche auf einer Spitze balancirt sind, eigentliche Bewegung, sondern nur eine Art von Unruhe erfolgen. Führt man dagegen den

---

1 Dafs bei Anwendung eines jeden, aus mehr Plattenpaaren bestehenden Volta'schen Apparates die entgegengesetzte Abweichung beobachtet wird, ist schon erwähnt, und wird hier überall übergangen, weil es leicht supplirt werden kann, und zu elektromagnetischen Versuchen vorzugsweise nur die angegebenen, aus zwei Metallen bestehenden, Apparate anwendbar sind.

elektrischen Leitungsdraht neben einer im magnetischen Meridiane balancirten Inclinationsnadel vorbei, beiden Axen parallel laufend, und die Richtung des elektrischen Stromes von N. nach S. angenommen, so wird die Nordspitze der Nadel sich *herabwärts* bewegen, wenn der Draht an der Ostseite derselben hingeführt ist, dagegen *aufwärts*, wenn er sich an der Westseite derselben befindet. Dafs keine östliche und westliche Abweichung dieser Inclinationsnadel statt finden kann, wenn der Draht über oder unter derselben hingeführt ist, läfst sich aus der Art ihrer Aufhängung leicht erklären.

Die hier angegebenen Erscheinungen wurden zuerst durch den berühmten Entdecker derselben, Oersted, bekannt gemacht[1], und unmittelbar darauf durch de la Rive[2], Schweigger[3], Mayer[4], Ampère[5], Gilbert[6], v. Yelin[7], Poggendorf[8] und viele andere wiederholt. Es können dazu alle eben angegebene elektromotorische Apparate benutzt werden, am bequemsten die unter No. 1 und 2 beschriebenen kleinern; zu den Magnetnadeln aber wählt man willkürlich die gerade zur Hand seyenden längeren oder kürzeren, auf einer Spitze balancirten Declinationsnadeln, am besten die kleinen 2 bis 4 Z. langen, und die gewöhnlichen Inclinationsnadeln. Will man aber ein hierzu vorzüglich geeignetes Instrument benutzen, hauptsächlich um für alle die genannten Erscheinungen an der nämlichen Nadel zu beobachten, so dient hierzu die *astatische Magnetnadel,* und zwar vorzugsweise die durch G. G. Schmidt[9] angegebene sehr zweckmäfsig für diesen Gebrauch construirte, womit für alle eben beschriebene Fälle die Grade der Abweichung sowohl für die Oscillationen als auch für den Zustand der Ruhe genau gemessen werden können[10]. Interessante Ver-

---

1 Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae 21. Jul. 1820. 8.

2 Bibl. univ. XIV. 281.

3 Schweigg. Journ. XXXI. 1 u. 35 ff.

4 Gött. Gel Anz. 1820. No. 171.

5 Ann. Ch. et Phys. XV. 59.

6 Ann. LXVI. 331.

7 G. LXVI. 395.

8 Erman: Umrisse u. s. w. S. 105. Isis. Jahrg. 1821.

9 G. LXX. 243.

10 Vergl. *Magnetnadel, astatische.*

suche mit derselben sind theils durch den Erfinder selbst[1], theils durch Pfaff[2] und andere angestellt. Auch Ampère hat die Construction eines solchen Apparates angegeben[3], welcher im Wesentlichen jenem gleich ist, in einigen Einzelnheiten mir aber minder zweckmäfsig scheint. Der hierher gehörige Zweck der auch für andere Bestimmungen tauglichen Nadel ist dieser, eine Magnetnadel zu haben, welche ihres eigenen Magnetismus ungeachtet dem Einflusse des tellurischen Magnetismus nicht unterworfen ist. Dieses erreicht man dadurch, dafs man eine Magnetnadel sehr beweglich auf einer festen Axe macht, welche letztere genau in die Richtung der Inclinationsnadel gestellt werden kann. Indem sich dann die Nadel blofs in einer Ebene bewegt, welche auf die ihr durch den tellurischen Magnetismus gegebene Richtung senkrecht ist, so kann letzterer keinen weiteren Einflufs auf sie ausüben. Hiervon überzeugt man sich durch den Versuch, ob die so gestellte Nadel dann in jeder ihr gegebenen Lage ruhet.

In vielen Fällen, namentlich wenn man sehr geringe elektromagnetische Wirkungen vermittelst der Multiplicatoren erforschen will, kann indefs eine solche Nadel weniger vortheilhaft in Anwendung gebracht werden, und man bedient sich daher eines andern unlängst bekannten Mittels, um eine für diesen Zweck vorzugsweise geeignete astatische Nadel zu erhalten, indem man zwei gleich starke feine Magnetnadeln mit entgegengesetzter Richtung ihrer gleichnamigen Pole an einer festen Axe befestigt, und leicht schwebend aufhängt. Die Zeichnung giebt ohne weitere Beschreibung eine deutliche Vorstellung von derselben, und es möge blofs noch bemerkt werden, dafs sie anstatt des Balancirens auf der feinen Spitze α noch feiner an einem ungezwirnten Seidenfaden oder in geeigneten Fällen selbst an einem Spinnefaden schwebend aufgehangen werden kann. Um die magnetische Kraft beider Nadeln bleibend zu erhalten, thut man wohl, die Nordpole derselben für gewöhnlich nach einer Seite zu drehen, und blofs für die Dauer der Versuche ihnen

Fig. 62.

1 G. LXVII. 141.

2 Der Elektromagnetismus. S. 41.

3 Darstellung der neuen Entdeckungen über die Elektricität und den Magnetismus u. s. w. durch Ampère und Babinet. A. d. Fr. Leipz. 1822. 8. S. 34. Ann. Chim. et Phys. XV. 198.

eine entgegengesetzte Richtung durch Umdrehen der einen auf der gemeinschaftlichen Axe zu geben.

Ein drittes Mittel, den Einfluss des tellurischen Magnetismus auf die gebrauchten Nadeln aufzuheben, wandten Biot und Savart an, als sie das Verhältnifs der Entfernungen zu der Stärke der magnetischen Repulsion eines galvanischen Leiters untersuchten. Dieses besteht darin, dafs man der Magnetnadel einen starken Magnet in derjenigen genau abgemessenen Entfernung nähert, in welcher sein magnetischer Einflufs den der Erde vollständig aufhebt. Ob man diesen Punct erreicht habe, kann man prüfen, indem man aus gröfserer Ferne den Magnet nähernd die in gleichen Zeiten erfolgenden Schwingungen der Nadel beobachtet, welche mit zunehmender Nähe stets langsamer werden, und endlich verschwinden. Der Magnet wird dann in diejenige Entfernung gebracht, in welcher die Schwingungen der Nadel langsam genug sind, um den Einflufs des Erdmagnetismus als verschwindend anzusehen [1].

2. Man kann diese bisher beschriebenen sämmtlichen Erscheinungen vermittelst eines von mir angegebenen bequemen und wohlfeilen Apparates darstellen, welcher noch zu andern für die Theorie des Elektromagnetismus nicht unwichtigen Zwecken dient, und daher hier aufgenommen werden möge [2], und obgleich die dazu gewählten Dimensionen willkürlich sind, so behalte ich zur leichteren Uebersicht doch diejenigen bei, wonach das von mir gebrauchte Exemplar ausgeführt ist. In dem lothrechten Durchschnitte der Zeichnung ist a b ein flaches Brett von hartem Holze, 18 Par. Z. lang und 8 bis 9 Z. breit, wonach die übrigen Dimensionen der Kürze wegen leicht geschätzt werden können. In einer, dieses Brett in zwei gleiche Hälften theilenden Linie sind die beiden Glassäulen v, v′ eingelassen, welche oben eine messingne Fassung mit einem quer liegenden messingnen Plättchen tragen, 0,3 Z. breit und 1 Z. lang. Ueber diesen liegen zwei ganz gleiche messingne Plättchen l l′, den ersten parallel, und beim Herablassen sie deckend, an beiden Enden mit einer Schraube so versehen, dafs ein beliebiger Metalldraht zwischen die Plättchen gelegt, und durch Anziehen der oben mit einem Blatte versehenen Schrauben befestigt wer-

Fig. 63.

1 Biot Précis élément. de Phys. Par. 1824. II. vol. 8. II. 708.
2 Vergl. G. LXX. 141.

den kann. Jede Fassung hat oben einen kleinen messingnen Behälter f, f′ mit einer Vertiefung, worin sich etwas Quecksilber befindet, aus welchem an jeder Seite ein oben gekrümmter Messingdraht α, γ frei mit dem unteren Ende in eine im Brette befindliche, gleichfalls mit Quecksilber gefüllte Vertiefung herabgeht; und um eine etwa mögliche Leitung der Elektricität durch das Brett zu verhüten, ist dasselbe auf seiner ganzen Oberfläche und vorzüglich in den erwähnten Vertiefungen, mit Bernsteinfirnis überzogen. In die genannten Vertiefungen sind ferner die beiden krummgebogenen Enden e, e′ der Drähte β, δ herabgelassen, welche in einer Rinne im Brete liegen, und jeder durch drei kleine Haken in derselben so festgehalten werden, dafs nichts über die Oberfläche des Brettes hervorragt. Sind die gebrauchten Drähte abgenutzt, oder will man sie mit andern vertauschen, so kann man diese leicht unter den Häkchen oder Klammern hinschieben, bei e, e′ etwas krumm biegen und in das Quecksilber eintauchen. Die Drähte laufen verlängert nach K und Z hin, und sind mit ihrem andern Ende der eine an die eine Seite des kupfernen Kastens, der andere an das eine der Zinkplatte angelöthet, wodurch also der elektrische Kreislauf vom Kupfer zum Zink und durch die leitende Flüssigkeit wieder zum Kupfer hergestellt ist. Ein hölzerner Rahmen g, g′, 14 Z. lang und 8 Z. breit, welcher auf dem Brete ruhet, trägt in einem Falz 4 eingekittete Tafeln von hellem Glase, deren beide schmälere mit m, m′ bezeichnet sind. Da wo sie mit ihren Enden zusammenstofsen, sind sie inwendig und auswendig mit schmalen Papierstreifen zusammengeklebt, und bilden sonach einen oben und unten offenen Kasten, um die Magnetnadel bei feinen Versuchen gegen den unvermeidlichen Luftzug zu sichern. Unten wird dieser Glaskasten von selbst durch das Aufsetzen auf das Brett geschlossen, der obere Rand desselben aber ist theils der grösseren Festigkeit wegen, theils um eine weiche Unterlage zu bilden, mit einem nach beiden Seiten übergeschlagenen, etwa 0,75 Z. breiten Riemen von Gemsenleder überklebt, auf welchem zwei oder drei verschiebbare Scheiben von Spiegelglase n, n′ ruhen und oben eine Bedeckung des Kastens bilden, einige Zolle länger und breiter, als dieser ist. Durch die kleinen Zwischenräume dieser Spiegelglasscheiben, da wo sie an einander stofsen, werden die Magnetnadeln an ungezwirnten Seidenfäden aufgehangen herabgelassen, durch ein

kleines, an dem verlängerten Faden hängendes, über die Seite der Scheiben herabgelassenes Gegengewicht balancirt, oder durch ein gröſseres, auf den Scheiben ruhendes Stück Blei am Herabsinken gehindert. Uebrigens lassen sich die Nadeln zwischen den Ritzen der Scheiben nach der einen, und durch das Verschieben der sämmtlichen Glastafeln auf dem weichen Leder des Glaskastens nach der andern Seite hin bewegen. Der Kasten hat unten am Rahmen zwei Ringe, an denen er aufgehoben, und nach Befestigung der Drähte wieder aufgesetzt werden kann, auch läſst sich derselbe nach Befinden auf dem Brette a b rechts oder links, vorwärts und rückwärts schieben, um das Verhalten der Nadel in allen verschiedenen Lagen gegen den elektrischen Leiter zu untersuchen. Endlich steht auch das ganze Brett a b mit seinen vier Füſsen auf einem doppelt so breiten Brette, als es selbst ist, welches dem Apparate zur Unterlage dient, auf seiner einen Hälfte den beschriebenen Apparat trägt, auf der andern Hälfte aber einen zur Erzeugung der Elektricität dienenden oben II. A. 2. beschriebenen Kasten, mit den daselbst erwähnten Trägern und Gabeln, um die Glasröhre, woran die Zinkscheibe befestigt ist, hineinzuhängen. Das letztere gröſsere Brett aber, welches deswegen gewählt ist, damit der Apparat selbst nicht durch die gebrauchten Flüssigkeiten beschmutzt werde, und um verschiedene Drähte und sonstige Sachen darauf zu legen, ruhet auf einem 2 Z. hohen und 12 bis 18 Z. im Durchmesser haltenden Cylinder von Holz, vermittelst dessen das Ganze auf jeden beliebigen Tisch gesetzt, und im Azimuth herumgedrehet werden kann [1].

Bei der Anwendung dieses Apparates zeigen sich die so eben unter No. 1. beschriebenen Erscheinungen in etwas verschiedener Gestalt. Gebraucht man nämlich zuerst die in der Figur gezeichnete horizontale Magnetnadel, welche 2 bis 3 Z. lang aus einer an beiden Seiten zugespitzten, in der Mitte fein durch-

1 Diesen Apparat habe ich unter verschiedenen anderen aufgenommen, theils weil er wohlfeil, theils weil er zur Anstellung sehr feiner Versuche mit verschiedenen Apparaten wegen des gegen Luftzug schützenden Glaskastens geeignet ist. Der neueste von Ampère vorgeschlagene allgemeine Apparat ist unten beschrieben. Unter die zweckmäſsigsten einfachen gehört sonst noch vorzugsweise der von Pfaff in seinem mehrerwähnten Werke angegebene, aber ungleich kostbarere.

bohrten, Uhrfeder leicht verfertigt und an einem ungezwirnten Seidenfaden aufgehangen werden kann, so wird diese über und unter dem Drahte schwebend die erwähnten Abweichungen nach Osten und Westen gleichfalls zeigen. Man kann zwar die Nadel nicht völlig mit ihrer Axe unter die Axe des Leitungsdrahtes in eine verticale Ebene bringen, allein dieses ändert den Erfolg nicht ab, da der Faden ohne wesentlichen Nachtheil die Seite des Drahtes berühren darf. Soll hierbei die Gröſse der Abweichung in Graden gemessen werden, so bediene ich mich eines auf Spielcharten-Papier, oder noch besser auf eine sehr dicke und pergamentartige Sorte englischen Papiers (sogenanntes *Bristol stamp*) gezeichneten, 1 bis 2 Lin. breiten, und in Grade getheilten Kreises, welchen ich mit feinen Fädchen auf dem Leitungsdrahte, oder selbst an den Spitzen der Nadel befestige. Der zwischen l, l′ eingespannte Draht bekommt in diesem letzteren Falle gleichfalls ein aufgebundenes Stückchen Papier mit einer Linie, wodurch beim Stillstande der Nadel der Nullpunct der Theilung, und bei ihrer Abweichung die Gröſse dieser letzteren in Graden bezeichnet werden. Um indeſs die Erscheinungen des Elektromagnetismus im Allgemeinen zu beobachten, bedarf es der Messung und des hierzu dienenden Ringes nicht. Befindet sich in diesem Falle der Kupferpol im Norden, und ist somit die elektrische Strömung von N. nach S. gerichtet, so wird die über dem zwischen l, l′ ausgespannten Drahte schwebende Nadel westlich abweichen. Bringt man sie dann neben den Draht an die Westseite, beider Axen in einer horizontalen Ebene liegend, so wird bei der Schlieſsung der galvanischen Kette die Nordspitze stark herabgezogen werden, in ihrer gröſsten Tiefe aber schon das Bestreben nach einer östlichen Abweichung zeigen. Läſst man die Nadel so tief herab, daſs sie sich frei unter dem Drahte hin bewegen kann, so ist ihre Abweichung östlich, und bringt man sie endlich an die Ostseite des Drahtes, beider Axen in einer horizontalen Ebene liegend, so wird die Nordspitze beträchtlich in die Höhe gehoben werden, bei ihrer gröſsten Erhebung aber gleichfalls das Bestreben nach westlicher Abweichung äuſsern. Es versteht sich von selbst, daſs die Bewegung der Südspitze der Nadel der angegebenen gerade entgegengesetzt sey.

3. Nicht so sehr die hier mitgetheilte Beschreibung, als noch weit mehr der Anblick der Erscheinungen selbst zeigt das

Bestreben der Pole der Magnetnadel, *sich um den horizontal ausgespannten Leitungsdraht im Kreise herumzubewegen*. Schwierig ist es hierbei genau zu unterscheiden, ob die individuelle elektromagnetische Wirksamkeit in dem Leitungsdrahte so vertheilt ist, daſs, wenn man sich einen um die Axe desselben gezogenen Kreis denkt, und diesen in 360 Grade theilt, die in diesem befindliche Nordspitze genau in einem Quadranten östliche, in dem gegenüber liegenden westliche Abweichung, und in den beiden seitwärts befindlichen das Bestreben einer aufwärts und herabwärts gehenden Bewegung zeigt. Um diese für die Theorie nicht ganz unwichtige Frage zu beantworten, legte ich auf die Träger zwischen l,l′ einen 1,5 Par. Lin. im Durchmesser haltenden völlig geraden Draht, damit irgend eine Krümmung desselben auf die Resultate keinen Einfluss haben möchte, schob auf denselben eine mit mehreren concentrischen getheilten Kreisen versehene Scheibe, deren Fläche auf der Axe des Drahtes senkrecht war, balancirte die Nadel völlig horizontal, lieſs im Zustande der Ruhe ihre Spitze den gewählten Kreis der Scheibe fast berühren, um gewiſs zu seyn, daſs sie sich stets in gleichem Abstande von der Axe des Drahtes, beiden Axen einander parallel, befände, und richtete die Scheibe so, daſs die verticale Ebene durch die Axe des Drahtes durch den 45sten Grad der Kreistheilung ging. Der Kupferpol befand sich in Norden, und die Strömung der Elektricität war somit nach Süden gerichtet. Die Resultate der Versuche waren durchaus constant, und zeigten überall keine Abweichung von einander. Berührte die Nordpolspitze in 45° den Kreis, oder lag ihre Axe in einer verticalen Ebene mit der Axe des Drahtes, so war ihre westliche Abweichung dem Augenmaſse nach völlig horizontal; wurde sie aber westlich bis zum 90sten Grade gerückt, wobei sie sich in allen Kreisen noch über der horizontalen, die Oberfläche des Drahtes berührenden Ebene befand, so zeigte sie unverkennbar eine herabgehende Bewegung, obgleich sie nach der ersten Senkung sogleich in einer horizontalen Ebene zu schwingen fortfuhr, aus dem natürlichen Grunde, weil auch die an einem Seidenfaden balancirten Nadeln weit leichter in dieser, als in der verticalen Ebene oscilliren. Der Erfolg war ganz der nämliche, wenn die Nordspitze den 180sten, 270sten und 360sten Grad der Kreise berührte, auch konnte ich, mit Ausnahme einiger Verminderung in der Wirkung, kei-

nen Unterschied wahrnehmen, wenn die Kreise weiter waren, folglich die Axe der Nadel sich in einem grösseren Abstande von der Axe des galvanischen Leiters befand. Statt des gebrauchten Messingdrahtes schob ich darauf einen flachen Zinkstreifen, 0,8 Z. breit und 0,3 Lin. dick zwischen die Trägerscheiben ll', allein die Bewegungen der Nadel waren denen durchaus gleich, welche der runde Draht erzeugt hatte, der Streifen mochte mit seiner breiteren Fläche horizontal oder vertical liegen.

Den hier erörterten Erscheinungen analog sind diejenigen, welche ich rücksichtlich des Verhaltens einer kleinen Magnetnadel (ich bediente mich einer stark magnetisirten englischen Nähnadel) beobachtet habe, als ich diese mit ihrer Nordspitze lothrecht über den Leitungsdraht oder zu beiden Seiten desselben höher und niedriger herabsenkte[1]. Die erhaltenen Resultate zeigen im Allgemeinen das Bestreben der magnetischen Pole, sich im Kreise um den Leitungsdraht zu bewegen, sie deuten darauf hin, daſs die um den elektrischen Leitungsdraht anzunehmenden Bogen, in welchen der Pol zur östlichen oder westlichen Abweichung sollicitirt wird, um 90° von demjenigen abstehen, worin sie das Bestreben nach einer aufwärts und niederwärts gerichteten Bewegung äuſsert; jedoch läſst sich auf diese Versuche nicht mit Sicherheit ein Schluſs gründen, weil der eigentliche Sitz der gröſsten magnetischen Intensität in einer solchen Nadel nicht sicher bestimmbar ist. Uebrigens fallen diese Erscheinungen mit denjenigen zusammen, welche von verschiedenen Physikern am lothrechten Leitungsdrahte der galvanischen Elektricität gleich anfangs beobachtet wurden, und sogleich näher angegeben werden sollen.

4. Die bisher erzählten Erscheinungen erfolgen auf gleiche Weise, man mag einen dickeren oder dünneren Draht anwenden, der Leiter mag rund, von quadratischem Durchschnitte, bedeutend breiter als dick, massiv oder hohl seyn. Eine runde und eine vierkantige massive Stange zeigten mir mit gleichgestalteten hohlen gleiche Wirkungen bei der Anwendung des mehr erwähnten hleinen Elektromotors. Bedient man sich sehr mächtiger Apparate, so muſs nothwendig eine durch das elektrische Leitungsvermögen des gebrauchten Leiters bedingte Verschiedenheit sichtbar werden, und eben so ist nicht zu erwar-

1 G. LXX. 156.

ten, dafs übermäfsig weite hohle Röhren bei kleinen Elektromotoren nicht endlich einen Unterschied der Wirkung zeigen sollten. Wird ferner statt eines Drahtes ein breites Blech gewählt, so erleiden die angegebenen Erscheinungen einige Modification. Bei der Anwendung ungleich breiter Bleche von Zink nämlich, 6,5 Z.; 3,25 Z.; 1,62 Z.; 0,81 Z.; 0,4 Z. und 0,2 Z., sämmtlich 0,4 Lin. dick, zeigte die Nadel bei den breitesten Stücken, in der horizontalen Lage derselben, eine merklich schwächere Einwirkung auf die Magnetnadel, und aufserdem war zwar die Bewegung der letzteren dann genau horizontal, wenn sie über der Mitte der Bleche schwebte; wurde sie aber mehr an die eine oder die andere Seite gerückt, so ging die Bewegung bei allen Blechen, welche über einen Zoll breit waren, auch dann schon in eine verticale über, wenn die Nadel noch über der Fläche der Leiter schwebte, und bei dem 6,5 Z. breiten Bleche schlug die vertical herabgezogene Spitze der Magnetnadel hörbar auf das Metall auf. Noch auffallender zeigt sich dieses, wenn man die erwähnten Bleche mit ihrer Ebene vertical stellt, in welchem Falle namentlich bei dem 3,25 Z. breiten die an der Seite derselben schwebende Nadel in der Mitte zwar eine genau verticale Bewegung erhielt, bis auf 0,25 Z. aber von der oberen oder unteren Kante abstehend sich völlig horizontal bewegte[1]. Mit gröfseren Elektromotoren habe ich diese Versuche nicht wiederholt, glaube aber nicht, dafs diese einen Unterschied in der Wirkung erzeugen würden.

5. Führt man den elektrischen Leitungsdraht lothrecht vor der Spitze der Declinationsnadel herab, oder bequemer, wenn man einen 0,75 Lin. dicken Draht in dem (oben No. 2) beschriebenen Apparate in das Quecksilber bei e herabsenkt, bei f mit einem Faden festbindet, in lothrechter Richtung zwischen den bedeckenden Glasplatten durchführt, oben aber mit einem feineren, zum Kupfer des Elektromotors herabgehenden Drahte verbindet, also auf diese Weise die ununterbrochene Fortleitung des elektrischen Stromes durch den lothrechten Draht erhält, die Spitze der horizontal hängenden Nadel demselben nähert, diese anfängliche Entfernung der Spitze stets beibehält, (Fig. 63.)

1 G. LXXI. 29. Aehnliche noch ausgedehntere Versuche mit nahe übereinstimmenden Resultaten von Seebeck findet man in den Abhandlungen der Berliner Societät der Wissenschaften. Jahr 1820—21. S. 330.

während man den Apparat um die Axe des lothrechten Drahtes im Azimuth in einem ganzen Kreise drehet, und in beliebigen Graden dieses Kreises die Abweichung der Nadel beobachtet; so wird man sich vollständig überzeugen, daſs überall die Abweichung der Nadel gleich und gleich stark ist. Hieraus geht also hervor, *daſs der Pol eines Magnetes um den lothrecht stehenden Leitungsdraht der galvanischen Elektricität, allerorten mit gleicher Kraft bewegt, in einem ganzen Kreise herumläuft*[1]. Um diesen wichtigen Satz im Groſsen und mit Vermeidung eines jeden Einflusses des über und unter der Nadel hingehenden, überhaupt des horizontal liegenden, Drahtes zu prüfen, habe ich ein groſses Gestell aus Latten zusammen gesetzt, einen viereckigen Rahmen, dessen Basis 12 Par. F. die Höhe aber 14 F. betrug. Auf einem an dem einen Ende der Basis auſserhalb hervorragenden Brete stand der kupferne Kasten, wovon der Leitungsdraht ausging, und um den ganzen Rahmen geführt war, worauf dann am andern Ende desselben die festgelöthete Zinkscheibe durch einen Gehülfen in die Säure des kupfernen Kastens getaucht, und sonach die galvanische Kette geschlossen wurde. An derjenigen lothrecht stehenden Latte, woran sich der Elektromotor nicht befand, war der Draht 4 Z. weit nach Auſsen abstehend und hinlänglich gespannt, trug in der Mitte seiner Länge einen durch Reibung auf ihm festsitzenden Arm von Holz, welcher um denselben in einem auf seine Axe lothrechten Kreise ganz herum gedrehet werden konnte, und von dessen anderem Ende die Magnetnadel an einem ungezwirnten Seidenfaden herabhing, also mit ihrer Spitze perpendiculär gegen die Axe des Drahtes gerichtet war. Der ganze Apparat wurde bald rückwärts bald vorwärts um die Axe des eben genannten lothrechten Drahtes durch einen ganzen Azimuthalkreis herum gedrehet, und in den verschiedensten Winkeln die Abweichung der Magnetnadel geprüft, allein das angegebene Gesetz fand ich durchaus bestätigt. Oersted[2] hat mit einem ähnlichen Apparate diesen Satz gleichfalls bewährt gefunden, und er kann daher als ein unbestreitbarer Hauptsatz in der Lehre des Elektromagnetismus betrachtet werden. Ist

---

1 Poggendorf in Isis 1821. I. 687. Meine Versuche bei. G. LXX. 159. u. v. a.

2 Ann. of Phil. 1822. Febr. G. LXXIII. 278.

übrigens die Richtung des elektrischen Stromes so, daſs er vom Kupfer aus über die Basis hinläuft, dann in die Höhe geht, auf der oberen Latte des Rahmens durch den Draht zurückkehrt, und herabwärts gehend dem Zinke zugeführt wird, so ist die Abweichung der Nordspitze östlich. Wird der hölzerne Arm mit der Magnetnadel um 180° im Horizonte herum gedrehet, so daſs die Südspitze der Nadel gegen den Draht gerichtet ist, so wird die Richtung des Drahtes gegen diese die entgegengesetzte, und da ihre Bewegung allezeit derjenigen der Nordspitze entgegengesetzt ist, so muſs ihre Abweichung jetzt gleichfalls östlich seyn, wie dieses die Erfahrung bestätigt.

Die Versuche zur Auffindung der Wirkungen eines lothrechten galvanischen Leiters wurden gleich im Anfange der Bekanntwerdung dieser wichtigen Entdeckung von Oersted selbst angestellt, durch die Genfer Physiker, durch Ampère und andere wiederholt, an vollständigsten aber durch Pfaff[1] und Faraday[2]. Es zeigte sich hierbei eine anscheinende Anomalie, welche viel besprochen wurde, gegenwärtig aber, nach deutlicherer Einsicht der Sache und also auch in Gemäſsheit der von mir gewählten Darstellung wegfällt, weswegen es genügen wird, das Ganze nur kurz zu berühren, ohne die Resultate der vielen Versuche einzeln anzugeben[3]. Es sey zu diesem Ende Fig. 64. a a' der horizontale Durchschnitt des lothrechten Leitungsdrahtes, bei welchem die ihn umkreisende Richtung des ablenkenden magnetischen Stromes, oder vielmehr der um ihn in einem Kreise herum laufenden Nordpolspitze der Magnetnadel durch die beiden Pfeile angezeigt ist. Ferner werde angenommen, jedoch ohne dasjenige hierdurch bestimmen zu wollen, was anderweitige Erfahrungen hierüber als ausgemacht darthun mögen, daſs die stärkste magnetische Polarität sich genau in der Spitze der Magnetnadel $\alpha\beta$ befinde, so wird dieselbe in der Lage, welche die Zeichnung angiebt, die durch den vor ihrer Spitze befindlichen Pfeil gleichfalls angedeutete Abweichung erhalten, die wir die westliche nennen wollen, sie mag in der durch $\alpha\beta$ angedeuteten verticalen Ebene dem Drahte mehr genähert, oder weiter von demselben entfernt werden. Wird die Nadel seit-

1 a. a. O. S. 55.
2 G. LXXI. 124.
3 Vergl. oben No. 3 am Ende.

wärts geschoben und weiter vorgerückt, so dafs sie eine mit $\alpha\beta$ parallele Lage beibehaltend die Mitte des Drahtes nicht erreicht, so wird die Spitze in a angezogen, in a' aber abgestofsen werden. Kommt aber der Mittelpunkt ihres eigenen Magnetismus genau dem Mittelpuncte des Durchschnittes des Leitungsdrahtes gegenüber, mithin genau in die Mitte zwischen die beiden gleich starken und einander entgegengesetzten elektromagnetischen Strömungen (oder Bewegungskräfte) zu liegen, so mufs sie nothwendig an jeder Seite des Drahtes, also in a und a' ruhen; den einen Fall hiervon giebt die Nadel $\alpha'\beta'$ an. Wird aber die Nadel noch weiter vorgerückt, so dafs sie an beiden Seiten die an der einen durch $\alpha''\beta''$ ausgedrückte Lage erhält, so mufs ihre Bewegung die entgegengesetzte werden, also die Anziehung in Abstofsung übergehen, und umgekehrt. Dafs der Sitz des Centralpunctes des Magnetismus in der Nadel die Entfernung bestimme, wie weit die Nadel vorgerückt werden mufs, um die entgegengesetzte Wirkung zu erzeugen, versteht sich von selbst[1].

6. Wenn man den Leitungsdraht der Elektricität in einer horizontalen Ebene vor der Spitze einer Magnetnadel so hinführt, dafs die Axen beider lothrecht auf einander gerichtet sind, so wird eine auf einer Spitze balancirte Nadel nur einige Unruhe zeigen können, eine am ungezwirnten Seidenfaden hängende aber, oder eine Inclinationsnadel wird sich aufwärts und abwärts bewegen, und zwar folgt aus No. 2, dafs die Bewegung aufwärts gerichtet seyn mufs, wenn der Kupferpol sich im Osten befindet, der elektrische Strom also in westlicher Richtung vor dem Nordpole vorbeiströmt, dagegen abwärts, wenn der Kupferpol sich im Westen befindet, und die Elektricität von hier nach Osten hin vor dem Nordpole vorbeiströmt. Beim Südpole der Nadel ist die Bewegung die entgegengesetzte, wie sich dieses von selbst versteht. Die Erscheinung selbst folgt nothwendig aus dem allgemeinen oben angegebenen Grundgesetze des Elektromagnetismus, indem die aufwärts und abwärts gerichtete Bewegung nur einen Theil des Umlaufens des Poles um den galvanischen Leiter ausmacht.

---

1 Die freie Umkreisung eines magnetischen Poles um den galvanischen Verbindungsdraht und die damit verwandten Erscheinungen übergehe ich hier. Man findet sie unter III. C. No. 9 und ff.

7. Ist der elektrische Leitungsdraht in der angegebenen, mit dem magnetischen Meridiane einen rechten Winkel bildenden Richtung über oder unter der Spitze einer Magnetnadel hingeführt, so fallen zuvörderst alle Bewegungen der Declinationsnadel in einer horizontalen Ebene von selbst weg, weil keine diese erzeugende Kraft vorhanden ist; bei den in einer verticalen Ebene beweglichen Nadeln dagegen wird die Bewegung um so mehr abnehmen, je weiter der elektrische Leitungsdraht sich von der Spitze nach der Mitte hin entfernt, und in der Mitte derselben, oder vielmehr schon vor derselben da verschwinden, wo die stets abnehmende magnetische Kraft der Nadeln $=0$ wird. Dieser Satz hat seinen Beweis gleichsam in sich selbst, vorausgesetzt, daſs sich der Leitungsdraht nicht in beträchtlicher Entfernung von der Oberfläche der Nadel befinde.

8. Es lassen sich der Vollständigkeit wegen noch die mannigfaltigen Modificationen betrachten, welche die erwähnten elektromagnetischen Erscheinungen erleiden, wenn der Leitungsdraht mit den Magnetnadeln verschiedene Winkel bildet. Um hierüber nicht zu ausführlich zu seyn, mögen nur diejenigen Fälle betrachtet werden, welche bei Magnetnadeln statt finden, die zugleich dem Einflusse des tellurischen Magnetismus unterliegen, wobei also das weit leichter folgende Verhalten der astatischen Nadeln ganz unberücksichtigt bleibt. Zur leichteren Uebersicht mögen ferner zuerst das Verhalten der Declinationsnadel zur Untersuchung kommen. Die Scheitel der Winkel, welche der elektrische Leiter mit diesen bildet, liegen entweder im Mittelpuncte der Nadel oder an ihrer Spitze. Rücksichtlich der ersteren liegen folgende Erscheinungen unmittelbar bei der Sache. Wenn der elektrische Leiter zuerst in einer verticalen Ebene und parallel mit der Axe der Nadel über derselben hingeführt ist, so wird die Nadel eine der elektrischen Wirksamkeit proportionale Abweichung erhalten, welche eine östliche seyn möge. Folgt man demnächst der Nadel mit dem Leiter, die Drehungsaxe im Centro derselben angenommen, so muſs die Nordspitze durch O. bis S. getrieben werden, und sobald sie über diesen Punct hinausgekommen ist, wird sie das Bestreben äuſsern, wieder nach N. zurückzukehren, woran sie indeſs durch die Einwirkung der andern Seite des Drahtendes gehindert wird, indem diese die Nadelspitze nach der entgegen-

gesetzten Seite sich zu bewegen sollicitirt. Den Winkel, welchen die Nadel mit dem ihm folgenden Drahte bildet, für jede Richtung einzeln zu bestimmen, würde sehr weitläuftige Rechnungen erfordern, anfangs aber wird derselbe demjenigen gleich seyn, in welchem die Nadel unter dem Leiter bei geschlossener Kette zum Stillstande kommt. Insofern aber der Leitungsdraht, wenn man die Richtung des elektrischen Stromes vom Beobachter aus fortschreitend annimmt, den Nordpol der Nadel von der rechten Seite her anzieht, unter sich fortführt, und nach der linken Seite hin abstöſst, so folgt aus mechanischen Gesetzen im Allgemeinen, daſs sowohl die anziehende als auch die abstoſsende Kraft des Leitungsdrahtes mit der Gröſse des Winkels abnehmen wird, welchen die Nadel mit ihm bildet. Bei schwacher Elektricität kann auch dieser Winkel leicht eine solche Gröſse erhalten, daſs die Wirkung gänzlich verschwindet, ist aber die elektrische Strömung stärker, dann kommen noch sonstige Bedingungen hinzu, welche die Erscheinungen abändern. Befindet sich nämlich die Magnetnadel im magnetischen Meridian, der Leiter über derselben, wir wollen annehmen, die Strömung sey von NO. nach SW. gerichtet uud gehe über dem Mittelpuncte der Nadel hin, so wird der in NO. befindliche Theil den Nordpol anziehen, der in SW. dagegen den Südpol anziehen. Beide Kräfte werden im Minimo ihrer Wirksamkeit seyn, wenn der Leitungsdraht lothrecht auf die Axe der Nadel gerichtet ist, oder die Strömung von O. nach W. geht. Wirkten nun die magnetischen Kräfte der Nadel bloſs in der Richtung ihrer Axe, die des Leitungsdrahtes in einer auf seine Axe normalen Richtung, so müſste die Nadel dann zum Stillstande kommen. Beides ist aber nicht der Fall, und obgleich bei der angegebenen Lage die ganze rechte Seite des Leiters den Nordpol, die ganze linke dagegen den Südpol anzieht, also bei vollkommen lothrechter Richtung die Summen dieser gleichen Kräfte sich aufheben müſsten, so ist doch ein solches Gleichgewicht physisch unmöglich, vielmehr muſs bei der geringsten Abweichung von dieser genau perpendiculären Richtung eine Bewegung des Nordpoles der Nadel entweder durch O. oder durch W. anfangen, und dann wird sie nicht früher zum Stillstande kommen, als bis sie völlig umgekehrt ist, wobei die linke Seite des Leiters auf den Nordpol, die rechte auf den Südpol derselben abstoſsend wirkt. Hiermit stimmt die Beobachtung voll-

kommen überein[1]. Es scheint mir überflüssig, die hieraus nothwendig horvorgehende Folgerung eben so ausführlich zu entwickeln, dafs bei der Richtung des elektrischen Stromes vom magnetischen W. nach O. oberhalb der Nadel gar keine Bewegung derselben erfolgen kann, auch bedarf es kaum der Erwähnung, dafs die Wirkungen des Leiters die entgegengesetzten sind, wenn er *unter* der Nadel hingeführt ist. Hiermit übereinstimmend ist dann auch das von Seebeck[2] beobachtete Phänomen, dafs ein auf Quecksilber schwimmender Magnetstab unter dem galvanischen Leitungsdrahte sich mit seinem Indifferenzpuncte einstellt.

Bildet dagegen die *Spitze der Magnetnadel* mit dem Leitungsdrahte einen Winkel, so kommen unter den verschiedenen möglichen Lagen der Axen des Drahtes und der *Declinationsnadel* zunächst nur diejenigen in Betrachtung, wobei die Nadelspitze unter oder über dem Leitungsdrahte sich befindet, und die Axen der Nadel und des Drahtes in einander parallelen horizontalen Ebenen liegen. Ohne über diese und die sonstigen Fälle in weitläuftige Rechnungen einzugehen, ergiebt sich bald, dafs für die angegebene Lage die Stärke der Bewegung der Gröfse des Winkels umgekehrt proportional seyn, und bei 90° verschwinden wird. Alle übrigen Erscheinungen folgen dann von selbst, wenn man nur die Richtung vor Augen hat, in welcher die Nadelspitze um den elektrischen Leiter zu laufen sollicitirt wird, weswegen diese Aufgabe keine weitere Untersuchung der einzelnen, unter sie gehörigen Fälle bedarf. Eben so wenig würde es sich der Mühe belohnen, das Verhalten der *Inclinationsnadel* für die verschiedenen Winkel einzeln anzugeben, welche der Leitungsdraht mit ihr bilden kann, die Scheitel derselben gleichfalls in der Drehungsaxe der Nadel liegend oder mit ihrer Spitze gebildet angenommen. Man darf nämlich nur berücksichtigen, dafs bei dieser Nadel nur diejenigen Winkel in Betrachtung kommen, welche in verticalen Ebenen liegen, und nach der Voraussetzung, dafs die Wirkungen des elektrischen Leiters in seinem ganzen Umfange einander gleich sind (nach No. 2) mit denjenigen zusammenfallen, welche

---

1 Vergl. Pfaff a. a. O. S. 38 u. 215. Bechstein bei G. LXVII. 371. Gilbert ebend. LXVI. 331. A. van Beck bei G. LXVIII. 306.

2 Schweigg. Journ. XXXII. 30.

so eben für die Declinationsnadel in einer horizontalen Ebene nachgewiesen sind[1].

BIOT hat endlich auch den Fall untersucht, wenn statt eines lothrecht vor der Spitze der Magnetnadel herabgeführten Leiters ab ein in einem gewissen Winkel $\alpha\mu\gamma$ gebogener dieselbe bewegt. Das Resultat dieser mit grofser Sorgfalt angestellten Versuche ergab, dafs die bewegende Kraft allezeit dem Winkel der Biegung proportional ist, dafs folglich die Biegung an sich auf die Wirksamkeit eines jeden einzelnen Elementes des galvanischen Leiters keinen Einflufs hat. Es lassen sich hiervon Anwendungen auf die Gesammtwirkung der wiederholten Windungen bei den Multiplicatoren machen[2]. Fig. 65.

9. Die Stärke der elektromagnetischen Wirksamkeit eines galvanischen Leiters wird durch die Gröfse des Winkels bestimmt, bis zu welcher er die Nadel anzieht oder abstöfst[3]. Eine solche Messung kann aber nur für diejenigen Fälle statt finden, in denen die Nadel zum Stillstande kommt, indem die Oscillationen, welche dieselbe beim wiederholten Oeffnen und Schliefsen des Kreises macht, kein eigentliches Mafs angeben, und auch schwache Apparate bei gehöriger Geschicklichkeit des Experimentators die Nadel leicht durch einen ganzen Kreis herumschleudern. Weil aber die Elektromotoren ihre Kraft nicht auf die Dauer behalten, und man sie nicht mit Sicherheit von einer bestimmten Stärke erhalten kann, so läfst sich auf diesem Wege das Gesetz der magnetischen Abstofsung nicht ohne bedeutende Schwierigkeiten auffinden. Inzwischen hat G. G. SCHMIDT[4] aus eigenen sinnreichen Versuchen, indem er in möglichst kurzen Zwischenräumen zuerst den Abstofsungswinkel der Declinationsnadel und dann der Inclinationsnadel mafs, desgleichen aus der Berechnung der früheren Versuche von GILBERT und vorzüglich von BECHSTEIN folgendes Gesetz abgeleitet: „*die mittlere Richtung der abstofsenden oder anziehenden* „*Kraft eines elektrischen Stromes auf die Magnetnadel geht*

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 38.

2 Biot Précis élémentaire de Physique. II. 740.

3 Berechnungen der abstofsenden Kraft des elektrischen Leiters, verglichen mit der des tellurischen Magnetismus von KAEMTZ. S. Schweigger Journ. XXXVIII. 100.

4 G. LXX. 249.

„perpendiculär von der Richtung des Stromes nach den Polen der Magnetnadel, und steht im verkehrten Verhältnisse „der perpendiculären Abstände des Stromes von den Polen der „Magnetnadel.“ Dieses Gesetz, welches auch HANSTEEN aus den oft erwähnten Seebeck'schen Versuchen fand[1], BIOT und SAVART aber aus den Schwingungszeiten von Magnetnadeln in verschiedenen Abständen vom Schliefsungsdrahte ableiteten[2], hat SCHMIDT später aus dem anderen gefolgert, *„dafs „jeder einzelne Punct des elektrischen Stromes die Pole der „Magnetnadel im verkehrten Verhältnisse der Quadrate der „Entfernungen anziehe oder abstofse*[3].“

Auch BARLOW will dieses Gesetz durch seine Versuche mit HARE's Calorimotor bestätigt gefunden haben, drückt es aber so aus, dafs die eigenthümliche Wirksamkeit der hierbei thätigen Potenzen näher bezeichnet wird, als wozu uns die Versuche bis jetzt berechtigen. Er nimmt nämlich an, dafs jedes Theilchen des galvanischen Fluidi im leitenden Drahte auf jedes Partikelchen des magnetischen Fluidi in der Nadel mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft wirke, jedoch weder anziehend noch abstofsend, sondern mit einer in beiden Flüssigkeiten reciprok wirkenden Tangentialkraft, welche die Pole derselben in einem rechten Winkel unter einander und mit dem berührenden Puncte bewegt[4].

BIOT und SAVART[5] untersuchten nicht blofs die Stärke der magnetischen Wirksamkeit, welche ein massiver galvanischer Leiter gegen eine horizontal schwebende Magnetnadel in verschiedenen Abständen äufsert, und verglichen diese mit der Wirkung des tellurischen Magnetismus, sondern sie fanden auch eine kupferne Röhre von 43 Millim. Durchmesser bei dem nämlichen Elektromotor wirksamer als einen massiven Draht von 0,84 Millim. Durchmesser, und zwar im Verhältnifs von 1,25324 : 1, entweder weil eine Röhre zur Erregung des Magnetismus

1 G. LXX. 178.

2 Biot Précis élémentaire de physique exp. Par. 1824. II. 707. Vergl. G. LXVI. 392.

3 Dieses nämliche Gesetz fand LA PLACE aus den Versuchen von BIOT und SAVART. S. Biot a. a. O. S. 741.

4 Edinburgh Phil. Journ. VII. 281. Vergl. unten IV. D. 5.

5 a. a. O. S. 735.

tauglicher ist, oder wahrscheinlicher weil sie die Elektricität in grösserer Menge durchleitet.

Da die absolute Gröfse des Winkels, bis zu welcher die Magnetnadel durch den elektrischen Leiter abgestofsen wird, der Stärke des erregten Magnetismus proportional ist, letztere aber von der elektrischen Wirksamkeit der gebrauchten Apparate abhängt, so hat man sich dieses Mittels vielfach bedient, um die elektrische Thätigkeit der angewandten Elektromotoren und die Leitungsfähigkeit der gebrauchten Flüssigkeiten wie auch der die Metalle verbindenden Leiter zu erforschen. Alle diese Untersuchungen gehören aber nicht hierher, und werden daher nur beiläufig erwähnt.

Die absolute Entfernung, bis auf welche die Verbindungsdrähte mächtiger Elektromotoren ihre Wirkungen auf die Magnetnadel fortpflanzen, ist unglaublich grofs. Seebeck hat, so viel mir bekannt ist, bishero die gröfste Weite beobachtet, indem er bei einem Abstande von 10 F. noch eine Abweichung der Magnetnadel bis 4 Grade betragend wahrnahm[1], und es leidet keinen Zweifel, dafs gröfsere Apparate ihre Wirkungen noch weiterhin ausdehnen.

10. Es folgt aus den bisher angegebenen Erscheinungen von selbst, dafs die Wirkung des galvanischen Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel verdoppelt werden mufs, wenn man denselben zuerst über der Nadel parallel mit ihrer Axe hinführt, dann umbeugt, auf gleiche Weise rücklaufend unter der Nadel hinzieht, und so beide Enden mit den beiden heterogenen Metallen des Elektromotors verbindet. Schweigger[2], und, durch eine Andeutung von diesem geleitet, Poggendorf[3] benutzten dieses Mittel zur Verstärkung der elektromagnetischen Wirkungen durch den elektromagnetischen *Multiplicator*. Die Construction dieses höchst wichtigen Werkzeuges ist auf das eben angegebene einfache Princip gegründet, dafs der zurücklaufende galvanische Leitungsdraht auf die entgegengesetzte Seite der

---

1 Schweigg. Jour. XXXII. 31. Berliner Denksch. a. a. O. S. 304.

2 Journ. XXXI. 1 ff. XXXII. 47.

3 Erman Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus. Berl. 1821. 8. S. 105. Vergl. G. LXVII. 429. Es leidet keinen Zweifel, dafs Schweigger der eigentliche Erfinder des Multiplicators sey.

Magnetnadel bei gleichem Abstande eine hinsichtlich der Richtung und der Stärke gleiche Wirkung hervorbringen mufs. Könnte man den galvanischen Leitungsdraht auf gleiche Weise und in gleicher Entfernung von der Axe der Nadel nochmals um dieselbe herumführen, so müfste die ursprüngliche einfache Wirkung jetzt abermals verdoppelt oder durch abermalige Zurückführung im Ganzen vervierfacht werden; allgemein aber gäben dann n Windungen des galvanischen Leitungsdrahtes eine 2n fache Wirkung, die des einfachen über oder unter der Nadel hingeführten Leiters als Einheit angenommen. Aus dieser allgemeinen Darstellung ergiebt sich, dafs das angegebene Verfahren nur bei Elektricität von geringer Spannung anzuwenden sey, weil jede einzelne Windung des Leitungsdrahtes isolirt seyn mufs, damit sie nicht mit der neben oder über ihr liegenden einen gemeinschaftlichen Leiter, und somit ein einfaches leitendes Element bilde; dafs aber zugleich, unter der Bedingung einer möglichen Isolirung, die Zahl der Windungen ausnehmend vermehrt werden kann, wodurch dann eine dieser proportionale Vervielfachung der elektromagnetischen Wirksamkeit mit gehöriger Rücksicht auf die nothwendig vergröfserte Entfernung der vermehrten Windungen von der Nadel gegeben wird. Hieraus folgt indefs von selbst, dafs der Multiplicator die elektromagnetischen Erscheinungen weder abändert noch im eigentlichen Sinne eigenthümlich modificirt, sondern lediglich verstärkt, und hierdurch die wegen ihrer Kleinheit sonst nicht wahrnehmbaren wahrnehmbar macht. Sofern aber die elektromagnetischen Erscheinungen blofs Folge der erregten Elektricität sind, so müssen die kleinsten Spuren der ersteren auch ein Vorhandenseyn der letzteren anzeigen; der Multiplicator tritt somit aus der Sphäre des *Elektromagnetismus* heraus, und wird zu dem feinsten bis jetzt bekannten *Elektroskope* für *galvanische Elektricität*. Aufser der Angabe des Princips, worauf derselbe beruhet, gehört also die vielfache Anwendung desselben unter den Artikel *Galvanismus*, die verschiedene, mehr oder minder zweckmäfsige Construction desselben wird aber besonders angegeben werden, nebst einer Untersuchung über die durch denselben zu erhaltende Verstärkung der elektromagnetischen Kraft eines gegebenen Elektromotors[1]. Unter die ähnli-

---

1 S. *Multiplicator, elektromagnetischer.*

chen Apparate gehören FARADAY's Ring[1], die Spiralen, schraubenförmigen Windungen u. s. w.

11. Eine dem Multiplicator ähnliche, und gleichfalls nicht uninteressante Form erhielt der galvanisch-elektrische Leitungsdraht durch AMPÈRE. Dieser ging hierbei von seiner gleich anfangs aufgestellten Theorie aus, wonach im elektromagnetischen Leitungsdrahte die polare Richtung des Magnetismus auf den elektrischen Strom normal gerichtet seyn soll. Um daher die Polarität dieses Leitungsdrahtes zu verstärken, bog er denselben von einem Puncte ausgehend durch mehrere Windungen zu einer in einer geraden Fläche liegenden Spirale mit gleichem Abstande der Windungen von einander. Ist der hierzu gewählte Draht etwas stark und die Zahl der Windungen nicht groſs, so erhält sich die Spirale in der geraden Fläche und ohne Berührung der einzelnen Windungen durch die Steifheit des Drahtes. Man kann aber auch nach v. ALTHAUS[2] eine kreisrunde Scheibe von Pappe mit Siegellack überziehen, durch den Mittelpunct derselben den gewählten Draht stecken, am besten Kupferdraht, welchen man unter dem Namen des *unächten Silberdrahtes* mit einem dünnen Ueberzuge von Silber erhält, letzteren aber durch Ausglühen und Abreiben mit etwas Kreide und Papier oder auch durch bloſses Abreiben fortschafft, wenn man dieses wünscht, dann denselben um dieses Ende in spiralförmigen Windungen, etwa eine Linie von einander abstehend, herumführen, bis die ganze Kreisfläche auf solche Weise übersponnen ist, endlich aber die an keiner Stelle sich berührenden Windungen sämmtlich durch ein heiſses Eisen in das Siegellack eindrücken. Am besten kann man sich, wie ich glaube, diese interessanten Apparate auf folgende Weise verfertigen. Man nimmt den genannten Silberdraht von 0,1 bis etwa 0,2 Lin. Dicke, oder noch stärker, wenn man bei der Anwendung groſser Elektromotoren das Glühen vermeiden will, läſst diesen mit Seide überspinnen, biegt ihn einige Fuſs vom einen Ende recht winklich um, windet mit Hülfe einer Spitzzange um diese Biegung die erste Windung, und befestigt sie an ihrem Ende vermittelst eines seidenen Fadens, fädelt diesen in eine Nähnadel, und

---

1 G. LXXI. 158.

2 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. Heidelb. 1821. S. 18.

während man fortfährt, um diese erste Windung die folgenden zu biegen, so befestigt man sie an einander durch Umschlingen des Seidenfadens. Hat man auf diese Weise eine hinlängliche Menge Windungen hergestellt, so wird ein Messingdraht von 0,5 bis 1 Lin. dick in einen etwa eine Linie gröſseren Kreis gebogen, als welchen die Scheibe einnimmt, an den zusammenstoſsenden Enden zu einem Ringe zusammengelöthet, die Scheibe vermittelst Seidenfäden dazwischen ausgespannt, das letzte Ende des besponnenen Drahtes aber nach Zwischenlegung eines Stückchens Seidenzeug am Ringe festgebunden. Das erste Ende des Drahtes kann freihängend bleiben, für einige Versuche aber muſs dasselbe, um seinen Einfluſs gegen den der Scheibe verschwinden zu machen, auf die letztere herabgebogen, und an dem messingenen Ringe dem letzten Ende diametral gegenüber fest gebunden werden. Diese Verfertigungsart ist etwas langwierig, allein da die einzelnen Windungen nur so weit von einander abstehen müssen, daſs zum Umschlingen des Seidenfadens die Nadel bequem durchgesteckt werden kann, so läſst sich auf diese Weise in einer nicht übermäſsig groſsen Scheibe eine sehr bedeutende Anzahl Windungen vereinigen, auch ist der umgebende Messingdraht bei Scheiben von 2 bis 3 Z. Durchmesser überflüssig, und kann unbedenklich nicht übersponnener Draht gewählt werden, wenn man die einzelnen Windungen desselben durch eine hinlängliche Menge Umschlingungen des Seidenfadens hinlänglich trennt.

Von den Erscheinungen, welche diese Spiralscheibe darbietet, können hier nur die Wirkungen derselben auf die Magnetnadel erwähnt werden. Diese lassen sich insgesammt kurz zusammenfassen, wenn man sagt, daſs die Spiralscheibe durch den galvanischelektrischen Strom an ihren beiden Flächen entgegengesetzt magnetisch wird, oder einen zweipoligen Magnet darstellt, indem ihre Polarität vom Rande an nach der Mitte hin wächst, und im Mittelpuncte selbst das Maximum ihrer Intensität erreicht. Mag dieselbe daher horizontal niedergelegt, oder vertical aufgehangen werden, und wie man dieselbe in beiden Lagen auch um ihr Centrum bewegt, stets wird die eine Fläche derselben nördliche, die andere dagegen südliche Polarität zeigen, so lange der Strom der Elektricität der nämliche bleibt. Denkt man sich übrigens die Scheibe der leichteren Vorstellung wegen in einer durch den magnetischen Meridian

lothrechten Ebene aufgehangen, die elektrische Strömung vom Kupfer ausgehend von Norden nach Süden durch die äufserste Windung gehend und sofort zuletzt dem Zinkpole wieder zuströmend, so wird die nach Osten gerichtete Fläche nördliche, die entgegengesetzte aber südliche magnetische Polarität zeigen. Uebrigens ist die letztere auch bei kleinen Elektromotoren, z. B. dem mehrgenannten kupfernen Kasten, so stark, dafs die Scheibe von Osten nach Westen, also auf die magnetische Mittagslinie senkrecht gerichtet, fein balancirte 3 bis 4 zöllige Magnetnadeln ganz umkehrt, und deren Spitze in ihrem Mittelpuncte festhält.

12. Seebeck[1] hat eine ganz eigenthümliche Wirkung des galvanischen Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel beobachtet, welche späterhin von andern, so viel ich weifs, nicht weiter untersucht ist. Werden die beiden Elemente des einfachen Volta'schen Apparates Kupfer und Zink durch eine Flüssigkeit F getrennt, und durch einen mitten über die Zinkplatte parallel mit ihrer Ebene hingeführten Metalldraht geschlossen, die Richtung desselben von Nord nach Süd angenommen, so wird die Nadel unter diesen Draht gestellt mit ihrem Nordpole östliche Abweichung zeigen, welche in dem Verhältnisse abnimmt, als man sich weiter vom Leitungsdrahte entfernt. Stellt man die Nadel über den Draht, so ist die Abweichung westlich, nimmt ab, wenn man die Nadel in eine gewisse Entfernung vom Leitungsdrahte bringt, wird endlich 0 und geht in östliche Abweichung über. Je näher die horizontale Ebene, worin man die Nadel östlich und westlich bewegt, dem Leitungsdrahte liegt, desto kleiner ist nach beiden Seiten desselben die Fläche, innerhalb deren die Declination westlich bleibt. Zieht man durch diejenigen Puncte, in denen die Declination verschwindet, eine Linie, so gleicht diese einer Hyperbel. Seebeck leitete die Ursache dieser Erscheinung aus der Einwirkung der gleichfalls elektromagnetische Wirkungen zeigenden oberen Zinkplatte ab, und fand auch, dafs die zwei Elektromotoren, wenn sie durch eine Flüssigkeit getrennt und durch einen metallischen Bügel α verbunden sind, ähnliche Wirkungen, als ein elektromagnetischer Leiter zeigen.

Fig. 66. Fig. 67. Fig. 68.

---

1 Abhandl. der Berl. Akad. Jahr 1820—21. S. 289. Schweigg. Journ. XXXII. 31.

Diese Erscheinungen, welche Seebeck mit seinem bekannten Scharfsinne der von ihm aufgestellten Theorie gemäfs zu erklären sucht, schienen mir viel zu wichtig, als dafs ich sie für den Zweck der vorliegenden umfassenden Untersuchung dieses schwierigen Gegenstandes nicht hätte wiederholen sollen. Ein so grofser Apparat, als der von Seebeck gebrauchte, stand mir dabei zwar nicht zu Gebote, allein die Wirkung des meinigen war gewifs stark genug, um die Frage eben so sicher als vollständig zu entscheiden. Seebeck's Apparat nämlich bestand aus einer einzigen Kupfer- und einer Zink-Platte, jede 5,3 Quadratfufs haltend, und durch eine Auflösung von Kochsalz und Salmiak, oder durch verdünnte Schwefelsäure, verbunden; dagegen hatten die von mir gebrauchten Platten nur 18 Par. Zoll Seite, allein die Flüssigkeit, womit die zwischenliegende Tuchscheibe stark getränkt war, bestand aus einer Mischung von Salpetersäure und verdünnter Schwefelsäure. Zur Sicherheit lag die untere Kupferscheibe auf einer isolirenden Glastafel, und die Zinkscheibe wurde zur Verstärkung des Effectes vermittelst schwerer Gewichte angedrückt. Der Draht b a von Messing und 0,2 Par. Lin. im Durchmesser haltend, wurde durch einen Gehülfen straff angezogen, so dafs er überall etwa eine Linie von der Fläche der Zinktafel abstand. Dabei schien es mir besser, ihn nicht unmittelbar und bleibend auch mit der Kupferplatte zu verbinden, sondern bei γ stand ein kleines Gefäfs mit Quecksilber, in welches der am Kupfer festgelöthete Draht bleibend herabging, der an die Zinkplatte bei b angelöthete aber abwechselnd eingetaucht wurde, um die Wirkung desselben bei offener und geschlossener Kette zu beobachten. Als ich auf den Verbindungsdraht eine 3 Z. lange, auf einer 0,75 Z. hohen Spitze schwebende Magnetnadel stellte, war die westliche Abweichung so stark, dafs die Nadel beim Schliefsen der Kette einigemale in einem ganzen Kreise umlief. In einiger Entfernung östlich und westlich vom Verbindungsdrahte hörte indefs die Wirkung auf, ich glaubte auch die erwartete östliche Abweichung zu entdecken, allein als ich mich bemühete, die Ordinaten der durch Seebeck gefundenen Curve genau zu messen, wurden die Erscheinungen so abweichend und regellos, dafs ich nach einigen vergeblichen Bemühungen den Gebrauch der auf der Spitze balancirten Nadel aufgab, und mich einer 4 Z. langen, an einem ungezwirnten Seidenfaden

Fig. 66.

balancirten, in einer Glasglocke herabhängenden, bediente. Hiermit wurde die Sache bald klar, und es zeigte sich mit einer über alle Zweifel erhabenen Gewifsheit, dafs hierbei blofs der Leitungsdraht b a wirksam sey. Ueber diesem zeigte die Nadel in seiner ganzen Länge und mit einiger nach a hin zunehmenden Stärke die regelmäfsige westliche Abweichung, in einer Entfernung von demselben sowohl östlich als westlich fing aber die verticale Bewegung der Nadelspitzen, dort der nördlichen, hier der südlichen, an, und wurde in 2 Z. Abstand so stark, dafs die Spitzen auf der Zinkscheibe fest zu hängen schienen. In gröfseren Entfernungen war das Herabziehen schwächer, aber doch unverkennbar, und hier traten dann allerdings die leichteren horizontalen Schwingungen ein, welche ohne genauere Bekanntschaft mit diesen Erscheinungen allenfalls für östliche Abweichungen gehalten werden konnten.

Dafs die Sache sich genau so verhalte, wie sie hier angegeben ist, wird jeder finden, welcher die Versuche zu wiederholen sich geneigt fühlt. Ob bei Seebeck's Versuchen die östlich und westlich vom Leitungsdrahte gestellte Magnetnadel vielleicht *unter* die horizontale Ebene des Leitungsdrahtes gekommen sey, und daher östliche Abweichung gezeigt habe, wage ich nicht zu bestimmen, allein ich bin mehr geneigt, dieses zu glauben, als der Zinkplatte einen die Wirkungen des Leitungsdrahtes störenden Einflufs beizulegen, auch kann ich mir nicht denken, dafs der Draht in der Zinkplatte eigenthümlichen, und dem seinigen entgegengesetzten Elektromagnetismus hervorgerufen haben sollte; wenigstens würde dieses mit allen bisherigen Erfahrungen im Widerspruche stehen. Dürfen wir aber dieses nicht annehmen, so zeigen die folgenden Versuche, dafs die Volta'schen Platten, mindestens die Zinkplatte, zwar einigen, aber einen fast verschwindenden Elektromagnetismus annehmen, und es ist überhaupt noch zweifelhaft, ob ein solcher überall in ihnen erregt wird.

Um dieses zu prüfen, bauete ich den Apparat nach der zweiten, durch Seebeck angegebenen Art auf, jedoch gleichfalls mit der Abänderung, dafs der Draht α aus zwei Theilen bestand, welche von der Zink- und Kupferplatte ausgehend in ein kleines Gefäfs mit Quecksilber gesenkt wurden. Diesesmal bestand der Verbindungsdraht aus Kupfer (unächter Silberdraht) 0,3 Par. Lin. Durchmesser haltend, und der Strom der Elektri-

Fig. 68.

cität war so stark, daſs ich den Draht anfangs wegen zu groſser Hitze nicht mit bloſsen Fingern berühren konnte. Die Länge des vom Zink ausgehenden Endes betrug 4,5 Z., des an das Kupfer gelötheten 1,5 Z., und in der Biegung war die Hitze am stärksten. Wurde die an dem Seidenfaden aufgehangene Nadel auf die Zinkplatte herabgelassen, so zeigte sich an der Nordseite derselben allerdings eine starke Abweichung, allein man konnte bald wahrnehmen, daſs diese Wirkung durch den Einfluſs des Verbindungsdrahtes erzeugt wurde, denn sie änderte sich nach der Richtung, in welche dieser gebogen wurde, und verschwand schon, wenn die Nadel über der Mitte der Scheibe schwebte, und der Draht in der Richtung von Osten nach Westen horizontal gebogen, und rückwärts laufend in das Quecksilber gesenkt wurde. Um eine noch feinere Messung zu erhalten, nahm ich eine höchst empfindliche, aus einer Uhrfeder möglichst dünn geschliffene, 2,25 Z. lange und in der Mitte 1 Lin. breite, an einem Spinnfaden aufgehangene Nadel von der Art, wie v. Yelin sie bei seinen thermo-elektrischen Versuchen gebraucht. Diese zeigte denn allerdings über der ganzen Oberfläche der Zinkscheibe, auch an der südlichen, vom Verbindungsdrahte am weitesten entfernten Seite unverkennbare Abweichungen, welche aber nicht mehr als etwa 5 Grade betrugen, und so daſs wegen der beim Schlieſsen der Kette unvermeidlichen Erschütterung kaum genau unterschieden werden konnte, ob die Abweichung östlich oder westlich war, auch läſst sich hiernach nicht bestimmen, ob sie durch die Platte oder durch den Schlieſsungsdraht erzeugt wurde. Inzwischen bin ich meinerseits durchaus nicht zweifelhaft, daſs Letzteres der Fall war.

13. Der Leiter der Elektricität bei einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine, welcher das elektrische Fluidum in einem bleibenden Strome entweder vom ersten oder vom zweiten Conductor zur Erde überführt, oder auch das Gleichgewicht zwischen beiden wieder herstellt, auch wenn derselbe durch einen Multiplicator verlängert und wirksamer gemacht wird, bringt auf die Magnetnadel keine der bisher beschriebenen Wirkungen hervor. Viele Physiker haben Versuche hierüber gemacht, am umfassendsten sind diejenigen, welche C. H. Pfaff[1] mit einer

---

1 Der Elektromagnetismus. S. 184. Aehnliche von Seebeck S. Berlin. Denksch. a. a. O. S. 333.

sehr kräftigen Maschine und unter verschiedentlich abgeänderten Bedingungen anstellte, ohne das geringste Resultat zu erhalten. Indem nun die Gleichheit des Wesens beider Elektricitäten anderweitig genügend nachgewiesen ist, und auch sonstige elektromagnetische Wirkungen durch die Reibungselektricität hervorgebracht werden, so hat man sich viel bemühet, die Ursache aufzufinden, warum sie in dieser Form ganz ausbleiben. Man könnte annehmen, der elektrische Strom durchlaufe den Leitungsdraht zu schnell, um der Nadel die erforderliche Zeit zur Bewegung zu gestatten, allein hierin kann der Grund nicht liegen, indem Pfaff in dem von ihm gebrauchten Drahte allezeit noch einige Spannung der Elektricität antraf, die sich dem sehr genäherten Finger in kleinen Funken mittheilte, ohngeachtet der statt findenden vollkommenen Ableitung. Pfaff ist vielmehr geneigt zu glauben, dafs eben die stärkere Spannung der Elektricität die Wirkung hindert. Zur weiteren Erläuterung dieser Frage diene vorläufig Folgendes[1]: Die Reibungselektricität scheint mir dann der galvanischen am nächsten zu kommen, wenn sie in einer Flasche aufgehäuft einseitig abgeleitet wird. Deswegen lud ich eine Flasche von 3,5 Quadratfufs Belegung, stellte eine an einem Spinnefaden aufgehangene feine Nadel auf einen Multiplicator von 120 Windungen, setzte das eine Ende seines Drahtes mit der äufseren Mauer des Hauses in leitende Verbindung, näherte die Spitze des andern vermittelst einer isolirenden Glasstange dem Knopfe der Flasche, und erhielt kaum wahrnehmbare, auf allen Fall 5° nicht übersteigende Abweichungen der Nadel, jedoch nur unter den günstigsten Umständen und nicht allezeit sicher[2].

B. Wirkung des elektrischen Leiters auf unmagnetischen Stahl und auf Eisen.

Aus den im vorhergehenden Abschnitte mitgetheilten Erscheinungen geht sehr einleuchtend hervor, dafs dem verbindenden Metalle zweier Elektromotoren in Folge der durchströmenden Elektricität zwar ein Magnetismus eigenthümlicher Art, jedoch ein ganz eigentlicher und unverkennbarer mitgetheilt werde. Ist dieses wirklich der Fall, so mufs der Verbindungs-

---

1 Vergl. unten III. B. 18.

2 Die weitere Erklärung S. unter Theorie.

draht auch die beiden bekannten magnetischen Eigenschaften zeigen, daſs er Eisen oder Stahl anzieht, und letzteres magnetisch macht. Wird zuvörderst die erste Erscheinung allein berücksichtigt, so gehören bedeutend starke Elektromotoren dazu, wenn der Magnetismus im Leitungsdrahte so gesteigert werden soll, daſs ein wirkliches Festhalten des Eisenfeilicht erfolgt; indeſs ist dieses Phänomen von so vielen Physikern beobachtet, daſs die Sache selbst keinem Zweifel unterliegt, und die Resultate der verschiedenen Versuche verdienen hauptsächlich nur in sofern eine nähere Betrachtung, als die Erscheinungen entweder durch ihre Stärke oder durch die erhaltenen individuellen Figuren ausgezeichnet waren, und hiernach zur Begründung einer angemessenen Theorie beizutragen vermögen.

1. Arago war wohl der erste, welcher bei seinen Versuchen mit einem mächtigen Volta'schen Apparate die wichtige Entdeckung machte, daſs der Schlieſsungsdraht eine bedeutende Menge Eisenfeilicht anzog und gleich einem Magnete festhielt[1]. Wurde derselbe in Eisenfeilicht getaucht, so belud er sich mit demselben bis zur Dicke eines Federkieles, lieſs es aber sogleich wieder fallen, als er auſser Verbindung mit den beiden Polen der Säule kam, auch nahm die getragene Menge mit der Wirksamkeit der Säule ab. Die Wirkung zeigte sich auch in einiger Entfernung, und war übrigens bei Drähten von Platin, Kupfer, Silber, Messing völlig gleich. Seebeck[2] beobachtete nicht bloſs das Anhängen des Eisenfeilicht überhaupt, sondern fand auch, daſs dasselbe um den lothrechten Draht concentrische und über einander parallel liegende Ringe bildete, beim horizontalen Leitungsdrahte dagegen ordnete sich das Eisenfeilicht über und unter demselben in kenntliche, mit der Axe gleichlaufende Streifen. Auſserdem bewaffnete Seebeck einen Schlieſsungsdraht von einem quadratischen Querschnitte, dessen Seite 4,5 Lin. betrug, mit eben so breiten und 5 Z. langen Schienen von weichem Eisen, welche kleine Stollen hatten, und dann vermittelst eines Ankers 5,5 Drachmen, und bei Anwendung eines Elektromotors, dessen Metalle jedes 31,5 Qua-

1 Ann. Chim. Phys. XV. 93.

2 Berlin. Denkschriften. 1820—21. S. 289 ff. S. 297. Schweigg. J. N. F. II. 30 u. 38.

dratfuſs hielt, 2 ℔. 2,5 Unzen trugen[1]. Erman[2] beobachtete vermittelst seines Rotationsapparates das Bestreben des feinsten Eisenfeilicht, durch die einwirkende Anziehung des Verbindungsdrahtes auf dasselbe sich in gewissen Figuren auf geglättetem Papiere zu lagern, welche er den durch Brugmans vermittelst eines parallel transversalen Magnetstabes erhaltenen ähnlich fand. Auch der von G. G. Schmidt gebrauchte Apparat[3] scheint nicht stark genug gewesen zu seyn, um am bloſsen Leitungsdrahte Eisenfeilicht in gehöriger Menge festzuhalten; brachte man es aber auf einer Glasscheibe liegend unter ihn, so legte es sich zu beiden Seiten desselben an ihn an, und stellte sich zugleich senkrecht auf seine Richtung[4]. Auch Davy[5] beobachtete mit am frühesten das starke Anhängen des Eisenfeilicht an einen dünnen Leitungsdraht der Volta'schen Elektricität in Massen, deren Dicke die des Drahtes bis auf das Zwölffache übertraf, und in Linien, deren Richtung er der Axe des Drahtes parallel fand.

Ich selbst habe mit dem (oben II. A. No. 5.) beschriebenen Apparate das Anhängen des Eisenfeilicht an Drähte von 0,1 bis 1,5 Lin. Durchmesser oft und genau beobachtet, dabei aber den von Seebeck angegebenen Unterschied in der Wirkung eines horizontalen und eines lothrechten Leiters nicht gefunden. Wurde das Eisenfeilicht auf Papier von unten insbesondere den dickeren Drähten genähert, an denen überhaupt diese Erscheinung bei der Anwendung kräftiger Elektromotore besser beobachtet werden kann, so erhob sich dasselbe wie bei einem Stahlmagnete strahlenförmig bis zur Höhe von etwa 1,5 Lin., blieb aber bei Entfernung des Papiers nur in einer Lage von etwa 0,5 Lin. hängen, und bedeckte so nicht völlig den halben Umfang des Leiters. Bewegte man aber das Papier mit dem Eisenfeilicht unter dem Drahte hin und her, so umgab es den ganzen Umfang anscheinend in parallelen, sehr nahen Ringen, welche in-

---

1 a. a. O. S. 312.

2 Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus. Berl. 1821. S. 32.

3 S. oben II. A. No. 4. G. LXXII. 4.

4 Die vielen späteren Beobachtungen dieser Erscheinung übergehe ich mit Stillschweigen.

5 Journ. de Phys. XCIV. 72.

defs wahrscheinlich der angegebenen Bewegung ihren Ursprung verdankten. Dünne Drähte wurden sogleich völlig davon umgeben, trugen aber im Ganzen eine weit geringere Menge.

2. Das Anziehen des Eisenfeilicht durch den galvanischen Verbindungsdraht läfst sich noch leichter sichtbar machen, wenn man die (III. A. No. 11) beschriebene Spiralscheibe anwendet, indem dieselbe auch bei kleineren Elektromotoren das Phänomen zeigt, z. B. bei der Anwendung von zwei Scheiben nur in der Gröfse eines Quadratfufses und der angegebenen Mischung von verdünnter Schwefelsäure mit Salpetersäure. Faraday[1] fand beim Gebrauche eines Hare'schen Calorimotors, dafs eine solche Spiralscheibe, insbesondere in ihrem Mittelpuncte, eine aufserordentliche Menge Eisenfeilicht festhielt. Bei einem aus mit Seide übersponnenem Drahte gebildeten massiven Cylinder soll nach ihm Eisenfeilicht, welches man auf Papier unter diesen hält, sich in krummen Linien anreihen, die von dem einen Ende desselben nach dem andern gehen, und den Weg anzeigen, den ein Magnetpol nehmen würde, indem die Enden eines solchen Cylinders sich wie die eines Magnetes verhalten, nämlich anziehen und abstofsen. Etwas undeutlich ist die Beschreibung des Verhaltens einer nicht ganz bis zum Mittelpuncte fortgewundenen Spirale. Legt man sie mit ihrer ebenen Seite auf einen Haufen Eisenfeilicht, so reihet dieses sich in Linien, welche mit der Axe der Scheibe parallel laufen, biegen sich dann von beiden Seiten jedes Drahtes sich begegnend wie Radien gegen einander, so dafs sie genau die Linien darstellen, welche ein Magnetpol um die Seiten der Ringe beschrieben haben würde. Das Eisenfeilicht in der Axe der Ringe stand aufrecht in lothrechten 0,5 Z. langen Fasern, eine wahre Axe des Ringes darstellend, indefs das Zwischenliegende ebenfalls lange Fasern bildete, die sich vom Centrum abwärts bogen, und zwar desto stärker, je weiter es sich von demselben entfernte. Es scheint mir indefs, als hätten manche Beobachter, hauptsächlich in den ersten Zeiten, in den Formen des angezogenen Eisenfeilicht mehr gesucht und somit auch gefunden, als wirklich darin liegt.

Sehr genau beschrieben sind diese Erscheinungen durch

---

1 G. LXXI. 156, 158.

G. G. Schmidt[1]. Die von ihm gebrauchte Spirale bestand aus Silberdraht, welcher in Abständen von 0,5 Z. gewunden war, und vermittelst übergebundener Glasstäbchen in einer geraden Fläche erhalten wurde. Unter diese hielt er in einer Entfernung von 0,5 bis 1 L. gleichförmig auf eine Glastafel gestreutes Eisenfeilicht in einer mit der Spirale parallelen horizontalen Ebene, und schlofs die galvanische Kette in kurzen Zwischenräumen. Bei jeder neuen Schliefsung fuhren die Eisentheilchen nach der Spirale, vorzüglich nach ihrer inneren Windung in die Höhe, hingen sich an diese und an einander, und bildeten einen hohlen, abgestumpften, kegelförmigen Ring, dessen untere Basis die Glastafel, die obere der Ring der Spirale war. Als er darauf Eisenfeilicht auf eine Glastafel gleichmäfsig streuete und über die Spirale brachte, so ordnete sich dasselbe durch sanftes Klopfen zu einem schönen Sterne, dessen Mittelpunct mit dem Centrum der Spirale zusammenfiel, und dessen Strahlen senkrecht auf den Windungen derselben standen. Jedes Eisentheilchen wird hierbei nach Schmidt's Ansicht zwischen den Drähten der Windungeu zum wirklichen Magnete mit entgegengesetzten Polen.

Fig. 69. Fig. 70.

Nur mit wenigen Worten darf der Vollständigkeit wegen hier bemerkt werden, dafs es bisher noch nicht gelungen ist, durch Reibungselektricität irgend eine Wirkung auf Eisenfeilicht hervorzubringen.

Gleich wichtig sind wohl unstreitig die Wirkungen, wodurch der elektrische Leitungsdraht in *Stahlnadeln* bleibenden Magnetismus erzeugt. Auch diese Erscheinungen zerfallen wieder in zwei Arten, nämlich diejenigen, welche der gerade Draht darbietet, und solche, die vermittelst eines schraubenförmig gewundenen hervorgebracht werden.

3. Betrachten wir zuvörderst die ersteren, so war Arago[2] derjenige, welchem es am frühesten gelang, Stahlnadeln durch den quer über ihre Enden hingeführten Verbindungsdraht wirksamer Elektromotoren bleibend magnetisch zu machen. Ungleich umfassender aber waren Seebeck's Versuche[3]. Dieser entdeckte, dafs Stahlnadeln durch blofses Streichen auf einem

1 G. LXXII. 3.

2 Ann. Chim. Phys. XV. 93.

3 Berlin. Denksch. a. a. O. S. 296. Schweigg. J. N. F. II.

Kupferstabe, welcher zur Verbindung der beiden Elektromotoren diente, beider Axen in einem rechten Winkel gegen einander geneigt, bleibend magnetisch wurden, und zwar nach einem constanten Gesetze nord- oder süd-polarisch. Bedient man sich hierbei einer angemessenern Bezeichnung, als die von Seebeck gewählte eines Streichens von der Rechten nach der Linken, dem elektrischen Strome in Gedanken selbst folgend, so kann man das Gesetz so ausdrücken: *wenn man die Nadel in derjenigen Richtung am Drahte streicht, oder streichend um denselben herumführt, in welcher der Nordpol der Magnetnadel um denselben herumläuft, so wird die Nadel an ihrem zuletzt abgezogenen Ende südpolarisch.* Dieses Gesetz wurde vorzüglich bestätigt durch H. Davy[1], welcher an einem 11 Z. langen und $\frac{1}{30}$ Z. dicken silbernen Schliefsungsdrahte des Volta'schen Apparates Stahlnadeln in verschiedenen Richtungen befestigte, einige mit demselben parallel laufend, andere quer unter, über und an den Seiten desselben. Alle wurden magnetisch, und zogen Eisenfeilicht an, die parallelen auf die nämliche Art, als der Draht selbst, und nur so lange, als die galvanische Kette geschlossen blieb; die quer gerichteten aber erhielten bleibenden Magnetismus, und es fand sich, dafs wenn das + Ende der Batterie in Osten stand, der Nordpol in allen unter dem Drahte in Querrichtungen befestigten Nadeln an der *Südseite*, in allen über ihm befestigten dagegen an der *Nordseite* desselben lag; auch war dieses stets der Fall, unter welchem Winkel gegen den Horizont die Nadeln befestigt seyn mochten. Es leuchtet von selbst ein, dafs diese Bezeichnung gänzlich mit dem angegebenen Gesetze übereinstimmt, welches auf so sichere Thatsachen gegründet künftig zur Prüfung anderer Angaben benutzt werden kann.

4. Es ist oben (III. A. No. 13) schon gezeigt, dafs die Reibungselektricität nur unter sehr beschränkenden Bedingungen ausnehmend schwache Spuren elektromagnetischer Wirkungen von derjenigen Art zeigt, wie die dort beschriebenen sind, desto auffallender aber zeigt sie diejenigen, welche hier untersucht werden, jedoch nur unter der Bedingung, wenn man sie nicht leise überströmend, sondern in Funken, sowohl

---

1 Phil. Trans. 1821. G. LXXI. 229.

einfachen [1], als insbesondere verstärkten anwendet, welche übrigens nur hinsichtlich des Quantitativen von einander verschieden sind. Der erste, welchem es gelang, durch starke elektrische Funken Stahlnadeln magnetisch zu machen, war v. Yelin [2], indeſs beruhen die Resultate, wonach dieselben in Folge der durch sie selbst oder durch einen der Länge nach über sie ausgespannten Draht geleiteten elektrischen Funken magnetisch geworden seyn sollen, vermuthlich auf einer Täuschung, indem hierdurch, nach späteren übereinstimmenden Erfahrungen, mindestens kein Longitudinalmagnet erzeugt wird, die unlängst bekannten Folgen der Erschütterung etwa abgerechnet. Da die Versuche leicht anzustellen sind, so wurden sie seitdem von sehr vielen Physikern wiederholt, und es wird daher genügen, bloſs die wichtigsten derselben namhaft zu machen. Im Allgemeinen ist dabei zu bemerken, daſs ein einziger starker Funken meistens die ganze Wirkung hervorbringt, welche durch eine beliebige Menge nachfolgender nicht weiter verstärkt wird; auch zeigt sich eine einzige groſse Flasche weit wirksamer, als eine Batterie, insbesondere wenn beide gleich groſse Belegungen haben. Ueberhaupt sind diese Versuche zwar sehr leicht anzustellen, allein vorzüglich gut gelingen sie nur dann, wenn die Witterung günstig, das Versuchszimmer nicht mit Menschen angefüllt ist, und die Elektricität daher einen bedeutenden Grad der Spannung hat.

5. Die gehaltreichsten Versuche über die Wirkungen des geraden Leitungsdrahtes der Flaschenelektricität hat H. Davy [3] angestellt. Stahlnadeln, welche mit ihrer Axe quer gegen die des Leitungsdrahtes gerichtet sind, werden, wenn man von der positiven Belegung ausgeht, links unter dem Drahte nordpolarisch, über demselben südpolarisch. Vergleichen wir dieses Resultat mit dem unter No. 3 angegebenen, durch Seebeck am Volta'schen Schlieſsungsdrahte erhaltenen, so ergiebt sich, daſs beide identisch sind. Es befinde sich deswegen der posi-

1 Hill in Schweigg. Journ. XXXIV. 293.

2 G. LXVI. 406. LXVIII. 17. Nach Gilbert a. a. O. S. 18 ist es wahrscheinlich, daſs die Nachricht von Arago's Versuchen im Moniteur univ. 1820. N. 315. S. 1491 sich auf *Reibungselektricität* bezieht, in welchem Falle diesem Gelehrten auch jene Versuche zuerst gelangen.

3 Phil. Trans. 1821. G. LXXI. 233.

tive Pol der Flasche als positiver eines Volta'schen Apparates gedacht, im Norden, so muſs der Beobachter, um ihn rechts zu haben, nach Westen gerichtet seyn. Der Nordpol der Magnetnadel bewegt sich aber unter dem Drahte nach Osten. Faſst man also den durch Davy erhaltenen Nordpol, und zieht die Nadel vom Drahte ab, so berührt ihr Südpol denselben, und man kann demnach auch hierbei sagen, daſs eine Nadel südpolarisch wird, wenn man sie in derjenigen Richtung um den Leitungsdraht herumführt, in welcher der Nordpol des Magnetes um denselben läuft. Eine Leidener Batterie von 17 Quad. F. Belegung durch einen Silberdraht von 0,05 Z. Dicke entladen, machte eine 2 Z. lange und 0,05 bis 0,1 Z. dicke Nadel so stark magnetisch, daſs sie kleine Drahtstücke anzog, auch ging die Wirkung des Drahtes auf eine Entfernung von 5 Z. durch Wasser, Glas und elektrisch isolirtes Metall. Ging der Batteriefunken durch die Luft quer über die Nadel hin, so wurde sie weniger magnetisch, als unter oder über einem leitenden Drahte; eine 0,25 Z. dicke Säule Schwefelsäure in einer Röhre lieſs indeſs nicht genug Elektricität durch, um Magnetismus zu erzeugen. Zwei an einander befestigte Stahlstäbchen, durch deren gemeinschaftlichen Schwerpunct der Leitungsdraht ging, zeigten in ihrer Verbindung keinen bedeutenden Magnetismus, nach der Trennung aber fand sich, daſs die ungleichnamigen Pole zusammenlagen.

6. Dem Wesen nach ähnlich, aber noch interessanter ist folgender Versuch. Davy befestigte mit Zwirn auf einer Pappenscheibe, von 2,5 Z. Durchmesser 6 kurze Stahlnadeln so, daſs sie die Seiten eines im Kreise beschriebenen Sechsecks bildeten, ihr Ende einander nahe, doch ohne Berührung. Durch den Mittelpunct der Scheibe, und also auch des Sechsecks ging der Draht, welcher beide Belegungen der Flasche verband, und nach der Entladung derselben waren alle sechs Nadeln magnetisch mit einander zugewandten freundschaftlichen Polen, deren Lage umgekehrt wurde, wenn die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte war. Wenn mehrere concentrische Polygone auf der Scheibe befestigt waren, so machte ein kräftiger Flaschenschlag sie sämmtlich magnetisch. Diese interessanten Versuche habe ich selbst sogleich nach ihrer Bekanntwerdung wiederholt, indem ich einen Messingdraht durch eine enge Glasröhre zog, und diese vermittelst zweier Körke in eine

andere, 3 Lin. weite befestigte. Auf die äufsere waren in den verschiedensten Richtungen gegen den Horizont eine grofse Menge 4 Lin. lange und etwa 0,3 Lin. dicke Stahldrähte mit etwas Wachs so aufgeklebt, dafs die Durchschnitte der Ebenen durch ihre Axen mit der des inwendigen Leiters vier rechte Winkel bildeten. Wurde ein kräftiger Flaschenschlag durch den Draht in der horizontal liegenden Röhre geleitet, so fanden sich alle Stahldrähte magnetisch, und zwar so, dafs alle gleichnamigen Pole nach einer Seite hin gerichtet waren, wenn man zur Bestimmung derselben eine den Leitungsdraht umkreisende Bewegung annimmt. Aehnliche Resultate erhielt gleichzeitig VAN BEEK mit Stahlnadeln, welche er auf einer Glastafel liegend quer unter oder über den Entladungsdraht einer kräftigen Batterie brachte [1].

7. Unter die wichtigsten, mit einem geraden Leiter der Reibungselektricität anzustellenden Versuche gehört ohne Zweifel die Erzeugung der Transversalmagnete durch denselben, und man bedient sich hierzu seltener grofser Volta'scher Batterieen, obgleich sie diese Wirkung gleichfalls hervorbringen. Diese Art künstlicher Magnete, welche sich aus kleinen, mit ihren gleichnamigen Polen zur Bildung eines langen Stabes an einander gelegten Magnetstäben gleichfalls leicht herstellen lassen, kannte man schon lange. Nach der Bekanntwerdung des Elektromagnetismus scheint mir indefs PRECHTL [2] der erste gewesen zu seyn, welcher die Aufmerksamkeit auf dieselben wieder rege machte, und sie wurden seitdem vielfach durch die Physiker vermittelst der Flaschenelektricität gebildet. Zuerst geschah dieses durch G. G. SCHMIDT [3], und ich selbst habe sie nach dessen Anweisung stets in vorzüglicher Stärke und von langer Dauer auf folgende Weise erhalten. Ich wickele stählerne Claviersaiten von No. 1 um eine 1,5 Lin. im Durchmesser haltende Thermometerröhre, indem ich das eine Ende der Saite am einen Ende der Röhre mit etwas gewichster Seide festbinde, in etwa 0,5 bis 0,25 Lin. abstehenden Windungen bis ans Ende der Glasröhre, wo der Draht gleichfalls mit Seide festgebunden wird. Wenn die Windungen sich unmittelbar

1 G. LXXII. 17.
2 G. LXVII. 262. Vergl. LXVIII. 203.
3 G. LXX. 229.

berühren, so werden nach meinen bisherigen Erfahrungen die Magnete minder kräftig. Ueber dem schraubenförmigen Drahtgewinde, mit der Axe der Röhre parallel, spanne ich einen Draht von beliebiger geringer Dicke, welchen ich an den Enden der Röhre gleichfalls festbinde, bringe diesen in den allgemeinen elektrischen Auslader, und lasse einen kräftigen Batteriefunken durchgehen, worauf der gerade Draht weggenommen wird, und die umwundene Glasröhre einen kräftigen Transversalmagnet darstellt, dessen linke Seite in Beziehung auf den elektrischen Strom nordpolarisch ist. Der der Länge nach übergespannte Draht ist meistens mit Seide übersponnen, oder man legt unter ihn ein seidenes Band, um ihn von dem Stahldrahtgewinde zu isoliren, welches indefs nicht einmal nothwendig ist, da ohnehin die Elektricität den kürzesten Weg wählt.

8. Wird der gerade Leitungsdraht der Elektricität einer grofsen Flasche oberhalb der eben beschriebenen Stahldrahtgewinde hingeleitet, so ist die dadurch erzeugte Polarität die entgegengesetzte derjenigen, welche er unter demselben hingeführt erzeugt, einerlei Richtung des elektrischen Stromes vorausgesetzt. Es scheint hieraus zu folgen, dafs ein durch die Mitte eines solchen Gewindes durchgeführter gerader Draht einen doppelten Transversalmagnet mit entgegengesetzter Polarität bilden müfste, allein es hat mir und andern, so viel ich weifs, bisher nicht gelingen wollen, solche Magnete darzustellen, indem die Drahtgewinde gar keinen, oder nur unmerklichen, und keiner Prüfung fähigen Magnetismus annahmen. Dieses stimmt mit dem oben No. 5 erzählten Resultate überein, welches Davy erhielt, wenn er den Leitungsdraht quer durch den gemeinschaftlichen Schwerpunct zweier parallel mit einander zusammengebundener Stahlnadeln zog, und diese dann erst durch den Batteriefunken jede einzeln magnetisirt fand, wenn sie von einander getrennt wurden. De la Borne will indefs durch dieses Verfahren Transversalmagnete mit nur zwei einander gegenüberstehenden Polen erhalten haben[1], und die Polarität derselben soll nach der Richtung der Windungen des Stahldrahtes verschieden gewesen seyn. Letzteres widerstreitet indefs der Natur der Sache, indem die erzeugte Polarität blofs von dem Leitungsdrahte der Elektricität, auf keine Weise aber

1 G. LXXII. 17.

von der Lage des ihm genäherten Körpers abhängt. Vielleicht können doppelte Transversalmagnete aus Windungen von grö-fserem Durchmesser vermittelst mächtiger Batteriefunken erhalten werden[1].

9. Die holländischen Physiker van Beek, van Rees und van Moll magnetisirten Stahlnadeln[2], indem sie dieselben über die Schenkel des in einen Winkel gebogenen Entladungsdrahtes der elektrischen Flasche legten, und erhielten hierdurch dreipolige Nadeln, deren Polarität aus der Bezeichnung in der Figur ersichtlich ist, wenn die Nadel a b c d über dem Drahte lag, die Richtung des elektrischen Stromes gleichfalls so angenommen, wie sie in der Zeichnung angedeutet ist. Ueber einem Drahte mit mehreren solchen Biegungen erhielt die Nadel eine der Menge derselben proportionale Menge Pole. Fig. 71.

10. Noch eine Reihe interessanter Versuche der eben genannten Physiker über die Wirkungen des geraden Leitungsdrahtes der Flaschenelektricität nehme ich ihrer Wichtigkeit wegen zusammen, erlaube mir indefs dabei die Bezeichnungen der erhaltenen Polarität so abzuändern, wie sie der Natur der Sache nach seyn mufsten, weil sie sonst mit den eben erwähnten und andern Beabachtungen der nämlichen Physiker im Widerspruche stehen würden, und auch schon Gilbert[3] gezeigt hat, dafs nothwendig ein Irrthum dabei obwalten müsse. Ging der elektrische Entladungsdraht e f der Länge nach über eine 3,8 Z. lange und 2,5 Z. breite Stahlplatte a b c d, so wurde sie an beiden Seiten magnetisch. Schwächere Schläge nachher durch den Draht k i theilten derselben nur bis an m l, m' l' Polarität mit. Wurde der elektrische Funke vermittelst eines Drahtes durch eine durchbohrte Stahlscheibe geleitet, so zeigte sie sich nicht polarisch, bis sie mit einer Blechschere durchschnitten war, worauf jede Hälfte sich entgegengesetzt polarisch zeigte. Dieses Resultat steht übrigens mit Davy's Beobachtungen an zusammengebundenen Stahlnadeln[4], noch mehr aber mit Erman's[5] ganz gleichen directen Versuchen der Magnetisirung Fig. 72.

---

1 Vergl. unten IV. D. 1. 4.

2 G. LXXII. 13.

3 Ann. LXXII. 23.

4 S. oben No. 5.

5 Seebeck in Berlin. Denksch. 1820—21. S. 338.

von Stahlscheiben im Widerspruche, auch ist es kaum glaublich, dafs eine in der Mitte durchschnittene Stahlscheibe wirklich unipolar magnetisch seyn sollte, da bei einem jeden künstlichen Magnete sofort beide Pole zum Vorschein kommen. Ueber eine quadratische Stahlplatte ABCD wurde auf einer Glastafel ein mehrfach gebogener Draht EFGHIKL gelegt, und durch diesen eine starke Batterie entladen, wodurch die Platte den in der Figur angedeuteten Magnetismus erhielt. Blofs der Form nach verschieden ist der Versuch, dafs durch ein Loch G in der Messingplatte ABCD eine unmagnetische Nadel gesteckt, dann die Glasscheibe HIKL auf die Platte gelegt, der Draht EF hinübergespannt und durch diesen mehrere Flaschenschläge geleitet wurden, worauf sich die Nadel stark magnetisch zeigte. Cylinder von Stahl, durch welche Flaschenschläge vermittelst eines Drahtes in einer Glasröhre geleitet wurden, verhielten sich ganz wie die erwähnte Stahlscheibe[1].

Fig. 73. Fig. 74.

11. So wie das oben erwähnte Angezogenwerden des Eisenfeilicht durch den galvanischen Verbindungsdraht kräftiger hervortritt, wenn der letztere spiralförmig gewunden ist, so geschieht auch auf gleiche Weise das Magnetisiren der Stahlnadeln leichter und kräftiger durch gewundene Drähte. Inzwischen bediente man sich hierzu von Anfang an vorzugsweise der schraubenförmigen Windungen, hatte dabei aber Mühe, zur Verständigung über die entstandenen Pole, die entgegengesetzten Richtungen dieser Windungen gehörig zu bezeichnen, ohne alle Schwierigkeiten und Mifsverständnisse in den Ausdrücken des *rechts* und *links* Gewundenseyns gehörig zu vermeiden[2]. Inzwischen hat man hierüber folgende Bestimmung angenommen[3]. Wenn man sich denkt, dafs jemand einen von ihm abgekehrten Cylinder horizontal hält, die obere Seite des ihm zugewandten Endes mit dem Finger berührt, diesen nach der rechten Seite herab unter dem Cylinder durch und wieder aufwärts führt, und so bis ans Ende fortfährt, also in der Richtung, *wie die Schrauben geschnitten werden*, so nennen die Botani-

---

1 Edinb. Phil. Journ. 1822. Apr. G. LXXII. 12.

2 Vergl. Gilbert Ann. LXIX. 211.

3 S. Demonferrand Manuel de l'Électricité dynamique. Par. 1823. 8. Deutsch. Handbuch der dynamischen Elektricität u. s. w. von Fechner. Leipz. 1824. §. 86.

ker diese Windung *rechts (dextrorsum)* gewunden, die in entgegengesetzter Richtung laufende aber *links (sinistrorsum)* gewunden. Es gilt dann ferner das allgemeine Gesetz, daſs, *wenn der elektrische Strom die Richtung der Windungen verfolgt, bei einer rechts gewundenen an der Seite, wo er anfängt, den Südpol, und wo er endigt, den Nordpol erzeugt.* Bei links gewundenen Schraubenlinien ist die Wirkung die entgegengesetzte.

In wie fern dieses mit dem Oersted'schen Fundamentalversuche übereinstimme, läſst sich auf folgende Weise leicht zeigen. Es folgt nämlich aus allen bisher mitgetheilten Erscheinungen, daſs ein elektrischer Leitungsdraht, wenn man den Strom der Elektricität von sich abwärts flieſsend denkt, in derjenigen Richtung, in welcher der Nordpol der Magnetnadel um ihn läuft, nordpolarischen Magnetismus erzeugt. Legt man also eine Stahlnadel oder ein Stahlblech *unter* den Draht, so muſs links vom Beobachter ein Nordpol gebildet werden, und diese Wirkung bedeutend verstärkt hervortreten, wenn der Draht in mehreren Windungen um die Nadel geschlungen wird, ohne dieses Verhältniſs gegen dieselbe zu ändern. Um dieses zu versinnlichen, sey a b der elektrische Leitungsdraht, die Richtung des Stromes so, wie die Zeichnung angiebt, genommen; c e f d sey eine Glasröhre mit einer durch sie gesteckten Nadel, so wird die letztere *unter* dem Leitungsdrahte durch den elektrischen Strom die in der Zeichnung angedeutete Polarität annehmen. Man drehe nun die Spitze der magnetisirten Nadel gegen sich, das + Ende zugewandt, fasse den Draht a, und winde ihn um die Glasröhre von oben nach unten in der Richtung der gezeichneten Linie, bis das Ende a nach a′ kommt, das andere Ende b dann gleichfalls von oben nach unten herab in der Richtung der Linie, bis es nach b′ kommt; so bleibt die Lage des + und — Endes der Stahlnadel gegen den Draht unverändert, und muſs daher dieser nämliche Magnetismus, jedoch in gröſserer Stärke, in ihr erzeugt werden. Man hat also in diesen vielfachen wirrigen Constructionen zur Erhaltung einer klaren Vorstellung und deutlichen Orientirung nichts weiter im Gedächtnisse zu behalten, als den elektromagnetischen Hauptversuch. Uebrigens ist die hier angegebene Windung eine *links gewundene.*

Fig. 75.

12. Arago[1] war der erste, welcher durch die eben genann-

1 Vergl. oben No. 4.

ten schraubenförmigen Windungen des galvanischen Leitungsdrahtes Stahlnadeln magnetisirte, und auch sogleich die Entdeckung damit verband, daſs in ein und derselben Nadel mehrere abwechselnde Pole erzeugt wurden, wenn er die Windungen des Drahtes zuerst nach einer Richtung laufen lieſs, dann nach einer Unterbrechung durch eine kurze gerade Strecke in der entgegengesetzten, und so in mehreren Wechseln.

13. Aehnliche Versuche wurden seitdem in Menge angestellt, dienten aber nur dazu, die einmal gemachten Erfahrungen zu bestätigen. Am ausgezeichnetsten sind diejenigen, welche die italienischen Physiker Gazzeri, Marchese Ridolphi Antinori und Graf Bardi schon im Jahre 1820 und 21 anstellten[1]. Sie bedienten sich dazu zweier kupferner Kasten, deren jede einzelne Zinkplatte 507,5 Quadratzolle maſs, und die mit Wasser und $\frac{1}{60}$stel Schwefelsäure gefüllt, beide aber zu einem einzigen Apparate vereinigt waren. Die Stärke des hierdurch in schraubenförmigen Drahtgewinden erzeugten Magnetismus erreichte in einer Minute schon das Maximum, ohne durch längere Einwirkung des elektrischen Stromes weiter verstärkt zu werden, auch war die Verlängerung des Leitungsdrahtes bis zum gewundenen Theile von keinem Einflusse. Es machte ferner keinen Unterschied, ob das Drahtgewinde mit der Nadel sich von Luft umgeben, oder unter Wasser, unter Eis, oder in einer an beiden Seiten verschlossenen Glasröhre befand. Ferner wurden die Nadeln magnetisch, die schraubenförmigen Windungen mochten weiter von einander abstehen, oder bis zur Berührung einander genähert seyn, selbst wenn sie von Auſsen mit einem Stanniolstreifen umgeben waren, nur nicht in einem Blechcylinder, wenn dieser einen Theil des Leitungsdrahtes ausmachte. Umgab dagegen der Schlieſsungsdraht in schraubenförmigen Windungen eine Röhre von Messing, worin sich die Nadel befand, so wurde diese noch stärker magnetisch, als in einer Glasröhre. War das Drahtgewinde durch Umwickelung eines dreiseitigen Prisma oder eines Parallelepipedums gebildet, so wurde die Nadel darin so gut magnetisch, als in einem umwundenen Cylinder, dagegen waren zickzackförmige Biegungen, so wie hin und zurücklaufende Flechtungen des Drahtes ohne Wirkung, auch machte die Art des Metalles,

1 Bibl. univ. XVI. 101. G. LXXI. 262.

woraus die Windungen bestanden, überall keinen Unterschied. Dafs übrigens diese Physiker keinen Magnetismus in Nadeln an der Aufsenseite der schraubenförmigen Drahtgewinde entstehen sahen, ist durch spätere Versuche vielfach berichtigt, denn hier wird er zwar schwächer als im Innern der Windungen und von entgegengesetzter Polarität erzeugt, allein seine Entstehung daselbst ist nicht minder gewifs und sicher[1].

14. So wie ein schraubenförmig gewundener Draht als Leiter der galvanischen Elektricität eine stärkere Wirkung in Hervorbringung des Magnetismus äufsert, als ein gerader, eben so ist dieses auch der Fall bei der *Reibungselektricität,* und da die Versuche hiermit so leicht anzustellen sind, und so auffallende Resultate geben, so hat man sie auch weit häufiger wiederholt als jene, welche zum vollständigen Gelingen gröfsere Apparate erfordern, als gegenwärtig in der Regel für die physikalischen Cabinette angeschafft sind, denen eine hinlänglich starke Elektrisirmaschine und die zur Anstellung dieser Versuche erforderlichen Flaschen überall nicht zu fehlen pflegen. Es wird daher genügen, nur die ausgezeichnetsten Versuche hier anzugeben. Hierhin gehören vorzüglich die durch v. Yelin angestellten, welcher zuerst diese Wirkung der Reibungselektricität auffand, indem er Arago's Versuche nachmachte, die nach seiner Meinung mit einer gewöhnlichen elektrischen Batterie angestellt seyn sollten, obgleich er sich wirklich dabei eines Volta'schen Apparates bedient hatte[2]. Beide fanden auch sogleich das wichtige Gesetz bestätigt, dafs der Magnetismus hierbei, seinem übrigen Verhalten analog, durch keinen elektrischen Isolator zurückgehalten wird, und es daher ganz gleich ist, ob die Windungen des Leitungsdrahtes der Elektricität um Glas, Seide, Papier, Wachstaffent, Leinewand, Holz u. dgl. gewunden sind, und diese Substanzen die Stahlnadeln einschliefsen, oder ob sie von Luft, Wasser u. s. w. umgeben sind. V. Yelin fand ferner, dafs es auch bei dieser Art zu magnetisiren nicht sowohl auf die Menge der einfachen elektrischen, oder der Batterie-Funken, als vielmehr auf ihre Stärke ankomme, indem eine einzige Entladung einer starken Flasche den Magnetismus so

1 Vergl. Boeckmann bei G. LXVIII. 15.
2 G. LXVI. 406. LXVII. 17.

vollständig in der Stahlnadel hervorruft, als es durch die gegebene Stärke der Elektricität geschehen kann.

15. Die Art der Anstellung dieser Versuche ist sehr einfach, und man darf annehmen, daſs es auſser einem später zu erwähnenden nur drei leicht zu verfertigende Apparate giebt, welche die Gesammtheit dieser Erscheinungen umfassen. Der eine besteht aus einer einfachen, 4 bis 6 Z. langen und so weiten Glasröhre, daſs eine Stahlnadel von etwa 0,25 bis 1 Lin. Durchmesser bequem hineingeschoben werden kann. Um diese wird ein Kupferdraht (unächte silberne Claviersaite) von etwa 0,2 Lin. Durchmesser in Windungen, welche 1 bis 2 Lin. von einander abstehen können, gewunden, und der Draht an beiden Enden der Glasröhre mit gewichsten Seidenfäden so festgebunden, daſs seine Enden 0,5 bis 1 Z. in der geraden Richtung der Glasröhre über diese hervorragend fortlaufen. Vermittelst dieser Enden wird er in willkürlicher Lage und Richtung gegen Horizont und Weltgegenden so befestigt, daſs der elektrische Flaschenfunken durch seine ganze Länge strömen kann, wodurch dann die in der Glasröhre befindliche Stahlnadel in einen bipolaren Magnet verwandelt wird, dessen Polarität auf die oben in No. 11 angegebene Weise bestimmt werden kann, und durch die Zeichnung ausgedrückt ist. Diesem ähnlich ist ein zweiter Apparat, welcher aus zwei gleichen, parallel neben einander liegenden, und mit dem nämlichen Drahte auf die angegebene Weise umwundenen Glasröhren besteht, wobei die Windungen sich zwischen beiden Röhren durchkreuzen, und daher einander entgegengesetzt sind. Ein einziger durch diese Windungen geleiteter Flaschenschlag macht die zwei Stahlnadeln in beiden Glasröhren zu bipolaren Magneten mit einander entgegenstehenden Polen, so daſs in den vereinigten Röhren die freundschaftlichen Pole an einander liegen. Der dritte Apparat endlich fällt mit dem ersten sehr nahe zusammen, jedoch nimmt man dazu eine etwas längere Glasröhre, umwindet diese zuerst einige Zolle nach einer Seite, bindet den Draht daselbst fest, führt ihn etwa 0,5 Z. mit der Axe parallel fort, bindet ihn daselbst abermals fest, beginnt die Windungen aufs Neue in entgegengesetzter Richtung, und wiederholt diesen Wechsel so oft, als man einen Wechsel der Pole oder die sogenannten *puncta consecutiva* erhalten will. Man erhält also auf diese Weise an der nämlichen Stahlnadel von α bis β einen bipolaren Magnet, von γ

Fig. 76.

Fig. 77.

Fig. 78.

bis δ einen zweiten mit entgegengesetzter Lage der Pole, zwischen ε und z einen dritten mit der nämlichen Richtung der Pole wie im ersten u. s. w. so oft die Windungen wechseln, wobei nothwendig mit Ausnahme der Endpole allezeit zwei gleiche Pole vereinigt seyn müssen. Die holländischen Physiker van Beek, van Molt, van Rees und van den Bos erhielten auf diese Weise durch achtmaligen Wechsel einen 24 Z. langen Stahlstab mit 16 Polen[1].

16. Eine eigene Erwähnung verdienen insbesondere noch Boeckmann's früh angestellte Versuche[2]. Dieser eifrige Experimentator ging bei der Prüfung des Verhaltens der schraubenförmigen Windungen nicht bloſs von dünneren Glasröhren zu dickeren und selbst sehr dicken Glascylindern über, ohne daſs durch die weitere Entfernung eine merkliche Abnahme der Stärke des erregten Magnetismus wahrnehmbar wurde, sondern er verfertigte auch aus leichten hölzernen Stäben eine Art von Trommel, oder ein Gerippe zu derselben, welches 8 Fuſs im Durchmesser haltend mit einem 750 F. langen Messingdrahte in 30 Windungen umsponnen war. In verschiedenen Abständen von diesen Windungen wurde eine Glasröhre mit einer Stahlnadel der Axe parallel eingelegt, und weiter vom Drahte bis zur Axe der Trommel entfernt. In diesem Abstande vom Leitungsdrahte, welcher 4 F. betrug, fingen zwar die durch einen Batteriefunken aus 5 Flaschen zusammen mit 1500 Quadratzoll Belegung erregten Magnetismen an zu verschwinden, aber es ergab sich doch so viel deutlich, daſs stärkere Flaschenschläge auch auf diese und ohne Zweifel noch auf gröſsere Entfernungen Stahlnadeln magnetisch zu machen im Stande seyn müssen.

17. Daſs man sich auch der *Spiralwindungen* (archimedeischer Schneckenlinien) zur Erregung des Magnetismus auf die angegebene Weise durch Reibungselektricität müsse bedienen können, leidet aus theoretischen Gründen keinen Zweifel, unter den Versuchen aber, welche hiermit angestellt seyn mögen, sind mir nur diejenigen bekannt, welche W. Pfaff beschrieben

---

1 G. LXXII. 14. In der Zeichnung ist nur ein Wechsel angedeutet, welches die Entstehung des mittleren Poles besser versinnlicht.

2 G. LXVIII. 9. Vergl. v. Althaus Versuche über d. Elektromagnetismus. Heidelb. 1821. S. 34.

hat[1], und diesen ähnliche von AMPÈRE[2]. Sie bieten im Wesentlichen nichts Neues dar, und bestätigen hauptsächlich nur im Allgemeinen den Satz, daſs der Magnetismus im Centrum dieser Spiralen bedeutend stärker ist, insbesondere wenn die Windungen einander sehr nahe sind. So wurde eine Nadel von 1,5 Z. Länge, welche W. PFAFF in das Centrum einer Spirale so legte, daſs sie als Radius von 20 Windungen durchschnitten wurde, durch einen einzigen schwachen Funken stark magnetisch. Eine symmetrisch gegen die Windungen der Spirale liegende Stahlnadel erhält durch den elektrischen Funken an beiden Enden gleiche Pole, nach der Mitte hin die entgegengesetzten, und wird in der Mitte indifferent. Mehrere andere Erscheinungen sind von ihm theils aus der Theorie geschlossen, theils durch die Versuche aufgefunden. Werden die Wirkungen der spiralförmig gewundenen Drähte mit denen der schraubenförmigen verglichen, so muſs eine über das Centrum der Spirale gelegte, an beiden Enden über sie hinausreichende Nadel drei Pole erhalten. Weil es aber wichtig ist, alle verschiedenen Erscheinungen in einen Zusammenhang zu bringen, und auf das nämliche Gesetz zurückzuführen, so hielt ich es der Mühe werth, diese Versuche mit einer einzigen Flasche von 11 Quad. Fuſs Belegung zu wiederholen, und erhielt hieraus folgende Resultate.

Fig. 79.

18. Ist die Elektricität kräftig, und der Draht der Spirale nicht stark mit Seide übersponnen, so entsteht in den Stahlnadeln schwache Polarität oder gar keine, und überhaupt sind die Erscheinungen regellos und können leicht täuschen, weil der Strom der Elektricität entweder die Nadel selbst ergreift, und ihrer Länge nach durchströmt, oder durch einige Windungen unter ihr hinläuft, und dann an ihr selbst seinen Weg fortsetzt. Sind auſserdem die Windungen einer Spirale einander sehr nahe, so werden sie leicht vom elektrischen Strome nicht in ihrer ganzen Länge durchlaufen, und auch hieraus entstehen Täuschungen. Wenn man aber eine Spiralscheibe anwendet, deren Windungen mindestens eine Linie von einander abstehen, diese horizontal legt, mit einer Glasscheibe bedeckt und auf dieser die Stahlnadel ruhen läſst, so sind die Resultate allezeit unzweideutig und mit dem angegebenen Gesetze durchaus übereinstim-

1 G. LXIX. 84.

2 Demonferrand a. a. O. §. 87.

ment. Liegt nämlich die Nadel auf der horizontalen Scheibe so, daſs eine durch die Axe der Nadel gehende verticale Ebene das Centrum der Scheibe durchschneidet, oder legt man sie mit dieser genannten zu beiden Seiten parallel, die Enden mögen über die Scheibe überstehen oder mit ihrer Grenze zusammenfallen, oder einige Windungen überstehen lassen, so erhält die Nadel jederzeit zwei gleiche Pole an beiden Enden, und den entgegengesetzten in ihrer Mitte. Wenn aber die Nadel blos vom Rande der Scheibe bis in ihr Centrum reicht, so erhält man einen zweipoligen Magnet. Die Polarität selbst, eben wie die ganze Erscheinung, ist dem angegebenen allgemeinen Gesetze durchaus angemessen. Ist nämlich die Richtung der Windungen so, daſs die Elektricität von Norden durch Osten nach Süden strömend, und durch Westen zurückkehrend gedacht werden kann, so erhalten die über ihnen liegenden Theile des Stahldrahtes in Osten und Westen Südpolarität, während die Mitte einen Nordpol erhält.

19. So wie der elektrische Strom in unmagnetischen Stahlnadeln den Magnetismus hervorruft, so muſs derselbe auch bei überlegener magnetischer Stärke die Polarität der Nadeln umkehren. Diese auf theoretischen Gründen beruhende Folgerung ist durch die Erfahrung vielfach bestätigt[1].

20. Es dringt sich bei diesen Betrachtungen die Frage auf, wie es zugehen möge, daſs ein einziger kräftiger Flaschenschlag im Stahl bleibenden Magnetismus erregt, da doch die so leicht bewegliche Magnetnadel unter dem entladenen Drahte nicht die mindeste Wirkung zeigt. Inzwischen liegt die Beantwortung dieser Frage nicht fern, und verstattet zugleich einen belehrenden Blick über das Verhalten der Elektricität überhaupt. Am bestimmtesten drückt sich Demonferrand[2] hierüber aus, wenn er sagt, das Magnetisiren bestehe auf allen Fall in der Hervorrufung einer neuen Disposition in einem Fluidum von ausnehmender Feinheit, wozu eine Wirkung von ganz kurzer Dauer schon genügen kann, während die Ablenkung der Magnetnadel erfordert, daſs einem Körper von bestimmbarem Volumen und Gewicht eine endliche Geschwindigkeit mitgetheilt werde, wozu keine, nur ein Minimum der Zeit wirkende Kraft ausreicht.

---

1 S. unter andern Hill in Schweigg. J. XXXIV. 290 ff.

2 Handbuch der dynam. El. S. 130.

Eine Ablenkung der Magnetnadel wird daher nicht erfolgen können, wenn die, zwei elektrische Pulsus trennende, Zwischenzeit so unbedeutend ist, daſs die Wirkung des ersten durch die Trägheit der Nadel und die ihrer Bewegung entgegenstehenden Hindernisse aufgehoben wird, bevor der zweite eintritt[1]. Inzwischen bemerkt man bald, daſs diese Hypothese Demonferrand's, welcher auch Ampère und die Anhänger der Theorie des letzteren beipflichten, keineswegs hinlänglich begründet ist, und der Schwierigkeit des Problems eigentlicher ausweicht, als sie selbst genügend beseitigt. Es ist daher nothwendig, diese schon einmal erwähnte Frage[2] am geeigneten Orte nochmals gründlich zu untersuchen[3].

C. Wirkungen des Magnetes auf die elektrischen Leiter.

Die Beobachtung der durch den Magnetismus des galvanischen Leitungsdrahtes bewegten Magnetnadeln muſste nothwendig auf die Folgerung führen, daſs auch umgekehrt *durch einen festen Magnet der Leitungsdraht bewegt werden könne*, und wirklich war man auch gleich vom Anfange an bemüht, diese Modification des neu entdeckten Elektromagnetismus genauer zu ergründen. Indeſs hatte die Aufgabe, solche umgekehrte Bewegungen darzustellen, groſse Schwierigkeiten, weil sich auf keinen Fall ein mit den Elektromotoren verbundener galvanischer Leiter so leicht und fein balanciren läſst, als eine Magnetnadel. Schweigger[4] war der erste, dem es gelang, Bewegungen dieser Art unzweifelhaft, wenn auch weniger vollkommen darzustellen. Seitdem sind aber gerade die hierzu gehörigen Apparate auf eine merkwürdige Weise vervollkommnet und ausnehmend vervielfacht; sie zerfallen wieder in zwei Classen, nämlich zuerst diejenigen, bei denen die *Bewegung nur durch einen Magnet hervorgebracht wird*, und solche, welche *als Folge ihres eigenen Magnetismus nicht bloſs durch einen Magnet bewegt werden, sondern auch der Einwirkung des tellurischen Magnetismus folgend, sich polarisch in den magnetischen Meridian einstellen*. Der Unterschied beider ist nicht

---

1 Vergl. unten IV. F. I.

2 Oben III. A. 13.

3 S. unten IV.

4 Journ. XXXI. 8.

wesentlich, indem jeder wirklich magnetische Körper auch jeder auf ihn einwirkenden magnetischen Kraft folgen muſs, und hieran nur durch seine geringere magnetische Kraft oder minder leichte Beweglichkeit gehindert werden kann. Zur leichteren Uebersicht will ich indeſs hier bloſs die ersteren betrachten, und in einem folgenden Abschnitte die wesentlichsten der letzteren gleichfalls zusammenstellen.

1. Unter den vielen für diesen Zweck vorgeschlagenen Apparaten verdient der *Erman'sche Rotationsapparat* den ersten Platz, sowohl rücksichtlich der Zeit seiner Erfindung, als auch wegen der Zweckmäſsigkeit seiner Construction. Erman[1] schlägt deren zwei vor, wovon ich den vorzüglichsten mit einiger, mir zweckmäſsig scheinender, Abänderung kurz beschreiben will. Ein im Durchschnitt gezeichneter Becher vom dünnsten Silber ab hat vom Boden aus den aufwärtsgehenden hohlen Cylinder cd, so daſs also beide Cylinder einander parallel laufen. Die innere Röhre, zwischen 0,5 bis 0,75 Z. im Durchmesser haltend, ist etwas höher, und hat oben vier kleine Löcher, mit den durchgezogenen und festgebundenen Seidenfäden α, α, welche in einen gehörig starken ungezwirnten Seidenfaden β vereinigt sind, damit letzterer den ganzen Apparat trägt, und leicht beweglich macht. Am Boden des äuſseren, gröſseren Cylinders von 1,5 Z. Durchmesser liegt eine so durchbohrte dünne Glasscheibe, daſs der innere Cylinder bequem durch die Oeffnung derselben geht. Auf dieser isolirenden Glasscheibe ruhet der hohle Cylinder ee von Zink, und der Zwischenraum zwischen beiden Metallen wird am besten mit gesättigter Zinksolution gefüllt[2], weil verdünnte Säuren durch etwas Spritzen, insbesondere bei der Gasentwickelung, leicht die Seidenfäden zerfressen, Salz- und Salmiaksolution aber das Zink zwar nicht so stark angreifen, wie die Säuren, zugleich aber einen Ueberzug über das Silber erzeugen, welcher bei diesem Apparate nicht ohne Unbequemlichkeit weggeschafft werden kann. Der obere Rand des äuſseren silbernen Cylinders hat bei l ein kleines angelöthetes Blech mit einer Vertiefung, worin sich ein Tropfen Quecksilber befindet, um das eine, etwas herabwärts gebogene,

Fig. 80.

1 Umrisse zu den physischen Verhältnissen des ... elektrochemischen Magnetismus. Berlin 1821. 8. S. 9 ff.

2 S. oben II. B. 3.

Ende des Drahtes l m n o p s hineinzutauchen, während das andere s in dem Quecksilbertropfen eines ähnlichen kleinen Bleches am Cylinder von Zink ruhet.

Indem der letztgenannte Draht der Leiter der erregten Elektricität ist, so läſst sich aus den bekannten Wirkungen desselben auf die Magnetnadel leicht durch Umkehren sein Verhalten gegen einen genäherten Magnetpol folgern. Nach der einmal gewählten einfachen Bestimmung geht der elektrische Strom von l aus nach s. Denkt man sich also p im Norden und m im Süden, so läuft die Nordspitze der Magnetnadel unter l östlich, wird dann in die Höhe gehoben, bewegt sich über demselben westlich, an der Westseite herabwärts, und kommt auf diese Weise in ihre erste Lage wieder zurück. Eben diese Umkreisung findet in der ganzen Länge des Verbindungsdrahtes statt, wenn man seine Richtung von l bis s verfolgt. Behalten wir also für einen genäherten Nordpol der leichteren Uebersicht wegen die angenommene Richtung nach den Weltgegenden bei, und nähern dem Drahte im Puncte l einen Nordpol im Westen unterhalb einer horizontalen, die untere Fläche des Drahtes berührenden Ebene, so wird der Draht angezogen; kommt der Nordpol lothrecht unter den Draht, so weicht letzterer westlich aus; bewegt man den Magnet unter einer, die untere Fläche des Drahtes berührenden horizontalen Ebene nach Osten, so wird der Draht abgestoſsen; wäre es möglich, den in einem Puncte vereinigten Nordpol genau in einer die Axe des Drahtes schneidenden horizontalen Ebene östlich oder westlich von demselben zu halten, so würde gar kein Effect erfolgen; befindet er sich aber über dieser Ebene östlich vom Drahte, so wird dieser angezogen, lothrecht unter dem Magnete östlich abweichen, und wenn der Nordpol westlich vom Drahte über der letztgenannten Ebene gehalten wird, so muſs der Draht wieder abgestoſsen werden. Denkt man sich also einen lothrechten Durchschnitt des horizontalen Drahtes a, die Richtung des elektrischen Stromes vom Beobachter abwärts angenommen, so liegen um diesen bei Anwendung eines nordpolaren Magnetes zwei Puncte der Abstoſsung α, α'; zwei Puncte der Anziehung β, β'; zwei Indifferenzpuncte 0,0; ein Punct der östlichen Abweichung e und ein Punct der westlichen w, welches eigentlich nichts anders ist, als das Herumlaufen des Nordpols um den Draht in der Richtung $\alpha \beta' \alpha' \beta$ umgekehrt genommen. Schiebt

man den Durchschnitt des Drahtes, welchen wir hier in l angenommen haben, in Gedanken über die ganze Länge des Drahtes bis s fort, und berücksichtigt, daſs der Draht an jeder Stelle auf gleiche Weise vom magnetischen Pole umkreiset wird, so kann für jeden einzelnen Punct des Drahtes die Bewegung desselben leicht gefunden werden. Dabei versteht sich von selbst, daſs rücksichtlich des Oben und Unten das Drahtende n o dem l m und p s entgegengesetzt ist, folglich hier auch die Wirkungen des genäherten magnetischen Poles die entgegengesetzten seyn müssen, auch versteht es sich von selbst, daſs bei der Anwendung eines Südpoles die Wirkung entgegengesetzt sey, also die Anziehung in Abstoſsung, und umgekehrt die östliche Abweichung in die westliche verwandelt werden wird, bloſs die beiden Indifferenzpuncte werden bleiben, weil ein so aufgehangener Draht sich nicht in verticaler Richtung bewegen kann[1]. Fig. 80.

2. Der eben beschriebene Erman'sche Rotations-Apparat ist nicht ganz wohlfeil, wenn man auch zu dem Becher Kupfer statt Silber wählen wollte, und muſs auſserdem zu dem genannten Zwecke und noch einem andern später zu erwähnenden besonders angeschafft werden. Es lassen sich indeſs die angegebenen Erscheinungen auch vermittelst einer andern Vorrichtung darstellen, welche durch v. Althaus[2] bald nach der Entdekkung des Elektromagnetismus in Vorschlag gebracht ist, und bloſs aus einem gehörig gebogenen und an einem Faden ungezwirnter Seide fein balancirten Drahte besteht. Man hat seitdem bei den zahlreichen angegebenen Drehungsapparaten diese Art des Aufhängens nicht weiter benutzt, sondern sich vielmehr des Balancirens auf feinen Stahlspitzen bedient; weil aber jene die gröſste Beweglichkeit gewährt, und der Apparat auſserdem noch zu einem andern Zwecke dient, so möge er hier eine Stelle finden. Auf einem schmalen Brette A B wird die gebogene Glasröhre a b c aufgerichtet, welche an ihrem Ende den kleinen Becher m mit Quecksilber trägt. In diesem Quecksilber ist der Draht mit seinem krummgebogenen Ende e frei beweglich, und wird selbst durch den ungezwirnten Seidenfaden r am Häkchen Fig. 82.

1 Die von Erman beobachteten Wirkungen der beiden Pole eines Hufeisenmagnetes besonders anzugeben scheint mir überflüssig, da sie sich aus dem Gesagten von selbst ergeben.

2 Versuche über den Elektromagnetismus. S. 4.

s getragen. Der Draht bildet dann von e und f durch g h i und k einen Kreis, welcher durch das Quadrat g l o p genau balancirt ist, und senkt sich mit der untersten Spitze in das Quecksilberschälchen n, so daſs die obere und untere Spitze nebst den Puncten f und p in eine lothrechte Linie fallen. Da wo die Biegungen sich berühren würden, sind sie durch ein Stückchen Taffent isolirt zusammengebunden, und das Ganze kommt vermittelst der Quecksilberbecher in den elektrischen Kreislauf[1].

3. Auch diese Vorrichtung erfordert wieder einen eigenen, für sich bestehenden Apparat, durch welche Vereinzelung die Zahl der Vorrichtungen zu den zahlreichen Versuchen ausnehmend vervielfältigt wird. Weit zweckmäſsiger hat man daher einen *allgemeinen Apparat* zu construiren gesucht, vermittelst dessen sich die vielfachsten Erscheinungen darstellen lassen. Es sind mehrere dergleichen in Vorschlag gebracht, z. B. von Demonferrand[2] zwei, durch die mannigfachen Combinationen, welche sie gestatten, allerdings ausgezeichnete, indeſs scheint mir der durch Ampère angegebene seiner Einfachheit und nicht übermäſsigen Kostbarkeit und Zusammengesetztheit wegen der beste, schon in so fern, als es nicht zweckmäſsig ist, die Vorrichtungen zu allen Versuchen vereinigen zu wollen, weil man sie nicht sämmtlich zu gleicher Zeit anstellt, oder bei der Demonstration vorzeigt.

Fig. 83. Ampère's[3] Apparat besteht aus einem Tische, welcher zur Vermeidung nicht gesuchter elektrischer Einflüsse mit einem isolirenden Firnisse überzogen ist, und von Säuren oder Salzsolutionen frei erhalten werden muſs. Um das unvermeidlich aus den kleinen Küpen herabfallende Quecksilber wegzuschaffen, befindet sich bei P eine Oeffnung, in welche man dasselbe vermittelst einer Feder zusammen kehren, und in dem Schubkästchen V vereinigen kann. Als wesentliche Theile dieses Apparates sind anzusehen die zwei Paar in einer verticalen Ebene

---

1 Die Wirkungen des Magnetes auf diesen Draht und die Richtungen der erzeugten Bewegungen übergehe ich, weil sie aus dem unter No. 1 Gesagten von selbst folgen.

2 Handbuch der dynamischen Elektricität u. s. w. Bearbeitet von Fechner. Leipz. 1824. 8. S. 12 ff.

3 Ann. de C. P. XXVI. 390 ff. Es ist dieses eine Verbesserung des früher nebst den damit anzustellenden Versuchen beschriebenen. S. ebend. XVIII. 88.

liegenden kleinen Küpen x'y'; y,x; die sich zugleich zu zwei Paaren in einer horizontalen Ebene liegenden x', y; y', x vereinigen lassen, und die einzelne Küpe S, alle mit etwas Quecksilber gefüllt, und die beiden ersteren durch alle Azimuthe beweglich. Hauptsächlich muſs bei einem solchen Apparate dahin gesehen werden, daſs die Drähte, durch welche die erregte Elektricität zu den einzelnen Vorrichtungen geleitet wird, am Tische unbeweglich sind, damit man sie während des Experiments nicht zu halten nöthig hat, und daſs zugleich der Kreislauf der Elektricität schnell umgekehrt werden kann, damit die einander entgegengesetzten Wirkungen sogleich hervorgehen. Das Erstere erreicht man leicht, indem man die Drähte vermittelst einer auf dem Tische befestigten Klemmschraube p zwischen zwei kleine Brettchen festklemmt, während ihre etwas umgebogenen Spitzen in die Vertiefungen A und a getaucht sind. Schwieriger ist es, den elektrischen Strom augenblicklich zu unterbrechen und seine Richtung umzukehren. Hierzu dient diejenige Vorrichtung, welche in vergröſsertem Maſsstabe besonders dargestellt ist, mit gleicher Bedeutung der Buchstaben in beiden Figuren. Zwei kleine Brücken K und k, um eine Axe α, α' und β, β' beweglich, sind ohngefähr 1 Z. über die Fläche des Tisches erhoben, und bestehen aus zwei Stücken Kupfer durch gefirniſstes Holz oder Elfenbein isolirt. Die Kupferbleche haben an jeder Seite zwei, im Ganzen also vier Lappen, welche vermöge durchkreuzender Verbindungen den elektrischen Strom entweder in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung zu leiten bestimmt sind. Wird nämlich die eine dieser Brücken, die links gezeichnete, nach der rechten Seite herabgedrückt, so senken sich die dort befindlichen vier Lappen in die Rinnen A, B und in die Vertiefungen C, D; wird sie dagegen nach der linken Seite hin herabgedrückt, so werden die an dieser Seite liegenden Lappen in die Rinnen A, B und in die Vertiefungen C' und D' herabgedrückt; sind die Brücken horizontal, so findet keine Verbindung zwischen ihnen und dem galvanischen Leiter statt. Die beiden Vertiefungen stehen mit einander in Verbindung, nämlich C mit C' und D mit D' durch Drähte, welche mit Seide umwunden und durch ein Stückchen Glas zwischen ihrer Durchkreuzung von einander isolirt getrennt sind. So wie diese Brücke dem Leiter des einen galvanischen Poles dient, so ist die zweite für den des andern bestimmt, mit

Fig. 84.

einander correspondirenden Buchstaben zur Bezeichnung der einzelnen Theile. Links niedergedrückt sinken also die 4 kupfernen Lappen in die Rinnen B, a und die Vertiefungen c, d; rechts niedergedrückt in B, a und c', d'. Für die erste Brücke ist eine Verbindung bewerkstelligt zwischen der Vertiefung G und den durch einen Draht oder Kupferstreifen verbundenen Vertiefungen C und C'; desgleichen zwischen der Vertiefung H und den verbundenen Vertiefungen D und D'. Auf gleiche Weise ist für die andere eine Verbindung hergestellt zwischen c und c' und dem kleinen Becher S, dessen Höhe vermittelst der Stellschraube z regulirt wird, welche sich unter dem Tische befindet; desgleichen mit der Säule ET vermittelst des federnden Metallstreifens JJ', welcher gleichfalls unter dem Tische angebracht ist. Von der andern Seite findet eine Verbindung statt zwischen den Vertiefungen d und d', und den beiden halbkreisförmigen Rinnen MN, mn mit Quecksilber gefüllt, und mit dem Drahte tuv versehen, welcher nebst der unter ihm fein balancirten Magnetnadel als Galvanometer dient. Von hieraus geht die Verbindung zur Säule FU und der Vertiefung O.

Fig. 84.

Die Säulen ET, FU sind von Kupfer, und dienen dazu, den elektrischen Strom in der einen oder der entgegengesetzten Richtung, je nach der Lage der beschriebenen Brücken K und k, in einem geschlossenen Kreise herumzuleiten, zugleich aber die aufgehangenen Schälchen x, y; x', y' mit in diesen Kreislauf einzuschliefsen. Zu diesem Ende ist die Säule ET vermittelst eines Drahtes mit dem Schälchen X und die Säule FU auf gleiche Weise mit Y verbunden; beide Schälchen sind von einander isolirt getrennt durch ein mit Firnifs überzogenes Glasstäbchen, woran sie festsitzen, und stehen in Verbindung X mit x und x'; Y mit y und y'. Je zwei dieser kleinen Schälchen x und y; x' und y' bieten für die aufzuhängenden Apparate zwei in einer lothrechten Linie liegende Stützpunkte dar, und eben so x und y'; x' und y zwei in einer horizontalen Ebene befindliche, welche sich vermittelst des Knöpfchens Z durch alle Azimuthe herumdrehen lassen.

Für diejenigen Versuche endlich, in denen der tellurische Magnetismus auf die beweglichen Leiter der Elektricität wirken soll, oder die letzteren zugleich in ein Gefäss mit einem flüssigen Halbleiter der Elektricität gesenkt werden, ist es nothwendig, die Rinnen A, B mit einander zu verbinden. Dieses ge-

schieht durch Ueberschlagen des in zurückgelegter Lage gezeichneten, im Charniere q beweglichen Metallstreifens Q, welcher mit zwei Vorsprüngen e, f versehen ist. Hierdurch wird der elektrische Strom durch die beweglichen Leiter geführt, indem er entweder die Säulen E T oder F U durchläuft, oder in das Quecksilbergefäfs S geleitet wird, je nachdem die beweglichen Apparate in den Schälchen x, y; x′, y′ oder in S aufgehangen sind.

4. Mit diesem Apparate versehen kann man leicht die zu den mannigfaltigsten Figuren gewundenen Drähte in den Strom der galvanischen Elektricität bringen, und ihr Verhalten gegen einen genäherten Magnetpol prüfen. Am einfachsten eignet sich hierzu die quadratische Form, und es ist um so weniger erforderlich, diese Vorrichtungen zu vervielfältigen und zusammengesetzter zu machen, als durch dieselben doch nur ein ohnehin genügend bekanntes Resultat zu erhalten ist. Wird also ein Draht, etwa 0,5 bis 0,75 Lin. dick an beiden Enden mit den feinsten Stahlspitzen versehen, dann in der Richtung a b c d e zu einem Rectangel gebogen, werden dabei die bei a zusammenkommenden Theile durch ein zwischengelegtes Stückchen Seidenzeug getrennt und mit einem Faden zu grösserer Haltbarkeit zusammengebunden, die Spitzen in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Schälchen des (No. 3) beschriebenen Apparates gesenkt, welche mit Quecksilber gefüllt und am Boden mit einem Glasscheibchen versehen sind, strömt endlich die galvanische Elektricität entweder in der Richtung y a b c d e x oder umgekehrt geleitet, so lassen sich die oben (No. 1) beschriebenen Wirkungen des einen magnetischen Poles und des andern oder auch zweier verbundener für beide angegebene Richtungen des elektrischen Stromes hiermit nachweisen. Fig. 85.

5. Alle drei bisher beschriebene Vorrichtungen sind blofs im Azimuthe beweglich, und zeigen daher die Erscheinungen, welche durch die Einwirkung eines Magnetes auf einen beweglichen Leiter der Elektricität hervorgebracht werden, nicht vollständig. Es läfst sich indefs die verticale Bewegung leicht auf folgende Weise erzeugen. Ein dem vorigen ähnlicher Draht, an seinen beiden Enden mit vertical herabgehenden Spitzen y′, x versehen, dann in die rectanguläre Form y′ a b c d y″ x gebogen, im Puncte y und x auf die beschriebene Weise isolirt verbunden, dann so weit an den Seiten a b und d c herabgedrückt, dafs sein Schwerpunct ein Minimum unter die Spitzen y′ und x fällt, und Fig. 86.

er also in einer horizontalen Ebene wie ein feiner Waagebalken leicht oscillirt, endlich durch Einsenken der Spitzen in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Schälchen gesenkt, und hierdurch in den Kreis der galvanischen Elektricität gebracht, wird die noch fehlenden verticalen Bewegungen deutlich zeigen, und gleicht in sofern einer Inclinationsnadel, wenn die anderen, früher (No. 1. 2 u. 4) beschriebenen, der Declinationsnadel correspondirend erscheinen. Auch hierbei fügen sich die Erscheinungen ohne Schwierigkeit einer leichten Uebersicht, wenn man sie auf das angegebene Gesetz zurückführt, dafs der magnetische Pol den galvanischen Verbindungsdraht umkreiset. Wird also die Richtung des elektrischen Stromes von y' nach x angenommen, so mufs der Nordpol unter dem Ende y' a östliche Abweichung erhalten, die Richtung dieses Endes von Norden nach Süden angenommen, mithin wird derselbe unter a b bei unveränderter Richtung südlich abweichen, und nach dieser Regel durch die ganze Länge des Drahtes. Denkt man sich nun den magnetischen Pol als fest, so kann der Draht keine Bewegung erhalten, wenn der magnetische Pol sich über oder unter dem Drahte befindet; hält man aber den Nordpol z. B. an die äufsere Seite des Endes a b, beider Axen in einer horizontalen Ebene angenommen, so wird der Draht herabsinken; denselben Pol an der inneren Seite gehalten wird er dagegen in die Höhe steigen, und hiernach lassen sich alle Bewegungen des Drahtes für beide magnetische Pole leicht auffinden.

6. Der erste, welcher den bisher oft ausgesprochenen Hauptsatz in der Lehre vom Elektromagnetismus, nämlich *dafs der frei schwebende Pol eines Magnetes sich um den elektrischen Leiter umkreisend bewegt*, in seiner eigentlichen Bedeutung auffafste, und dadurch einen Apparat erfand, welcher die so eben in No. 1 bis 5 beschriebenen Bewegungen in sich vereinigt, und das Gesetz selbst in das helleste Licht setzt, war Faraday [1]. Nach seiner Darstellung scheint es mir nicht zwei-

1 Ann. Ch. et Ph. XVIII. 337. G. LXXI. 133 ff. Faraday wurde hierauf durch ähnliche Versuche geleitet, als diejenigen sind, welche man oben III. A. No. 5 erwähnt findet. Was er noch weiter über die Lage des magnetischen Poles in Stahlstäben beibringt, nämlich dafs diese in gröfster Stärke nicht an den Enden derselben, sondern mehr nach der Mitte zu liegen sollen, ist hier nicht zu untersuchen, und kommt bei dem für jetzt zu erörternden Versuche nicht in Be-

felhaft, dafs er dieses Gesetz bestimmt auffalste, und folgenden Apparat danach construirte. In einer kleinen, im Minimo nur 1,5 Z. langen und 0,3 Z. weiten Glasröhre a b, welche oben etwas zusammengeblasen seyn kann, und daselbst mit einem Korke versehen ist, befindet sich oben das eine zu einem Oehre umgeschlungene Ende eines recht blanken Silberdrahtes (Kupferdrahtes), dessen anderes Ende k zu einem der Pole eines Elektromotors führt. In das genannte Oehr ist das Oehr eines gleichfalls sehr blanken dünnen Platindrahtes geschlungen, welcher mit dem andern geraden in das im unteren Theile der Röhre befindliche reine Quecksilber taucht. Letzteres wird durch den Kork b in der Röhre festgehalten, durch dessen Mitte das blanke Eisenstäbchen c d so gesteckt ist, dafs es mit dem oberen Ende etwas über das Quecksilber hervorragt, mit dem unteren vom Korke etwas entblöfst ist, und hier eine ununterbrochene metallische Fortleitung zum anderen Pole des Elektromotors vermittelst des Drahtes z giebt. Wird dann mit dem unteren Ende des eisernen oder auch stählernen Stäbchens d ein kräftiger Magnetpol in Berührung gebracht, so erhält das andere Ende c die entgegengesetzte Polarität, und bei geschlossener galvanischer Kette läuft der Platindraht um diesen künstlichen Magnetpol in einer durch den elektrischen Strom und die Polarität des Stabes bedingten Richtung [1]. Diese zu bestimmen bedarf es nach dem einmal angenommenen Hauptgesetze keiner künstlichen Demonstration. Es sey zu diesem Ende die Richtung des elektrischen Stromes durch die Bezeichnung der Verbindungsdrähte k und z angegeben; man denke sich den Apparat horizontal im magnetischen Meridiane und k im magnetischen Norden liegend, den Platindraht aber fest, so wird der Nordpol unter demselben östlich abweichen, dann in die Höhe gehoben werden, wiederum westlich abweichen, herabsinken und seinen Lauf aufs Neue beginnen. Denkt man sich nun den Magnetpol fest und den Draht beweglich, so mufs dieser in entgegengesetzter Richtung ihn umkreisen, und diese Bewegung auch beibehalten, wenn man den Apparat in eine verticale Linie richtet. Ein in einem kleinen Mafsstabe verfertigter Apparat dieser Art zeigt

Fig. 87.

---

trachtung, scheint mir aber auf einer Mifskennung der eben erwähnten Erscheinungen zu beruhen.

1 G. LXXI. 135.

die Erscheinung schon bei Anwendung von zwei mäſsig groſsen Platten Kupfer und Zink, wobei nur darauf zu sehen ist, daſs die Metalldrähte recht blank sind, und den elektrischen Strom nicht unterbrechen; ein gröſserer dagegen erfordert kräftigere Elektromotore. Man kann übrigens den unteren Draht z wieder in die Höhe biegen, und den Apparat in die oben III. C. 3. beschriebenen Quecksilbergefäſse x, y′ vermittels der Drahtenden k, z aufhängen, um durch Umkehrung der Richtung des elektrischen Stromes sogleich die umgekehrte Bewegung des Platindrahtes hervorzubringen [1].

7. Es ist indeſs nicht zu verkennen, daſs der Platindraht durch den Widerstand des Quecksilbers bedeutend gehindert wird, welches durch Uebergieſsen mit verdünnter Salpetersäure wegen des entstehenden Oxydes nicht aufzuheben ist [2]. Auſserdem hängt der Platindraht vermittelst der Schleife im Kupferdrahte, wodurch der unmittelbare leichte Uebergang des elektrischen Fluidums gehindert und die Reibung vermehrt wird. Ungleich zweckmäſsiger sind daher Schweigger's [3] Apparate eingerichtet, woran nicht bloſs das Umlaufen eines elektrischen Leiters *über* einem Pole, sondern auch *um* einen Pol des gewöhnlichen Magnetes nachgewiesen werden kann. Zum Behuf des ersteren ist gh eine flache hölzerne Scheibe mit der runden ausgedreheten Rinne rr′, bestimmt zur Aufnahme des möglich reinsten Quecksilbers. Um den Einfluſs der Zuleitungsdrähte auf die bewegliche Nadel zu vermeiden, ist der vom positiven Pole ausgehende p in das Quecksilber der Vertiefung r geleitet, der vom negativen q geht unten in die Scheibe eingelassen bis in die Mitte, ist dort umgebogen, geht lothrecht durch das Centrum der Scheibe, und endigt oben in eine angelöthete feine Nähnadelspitze. Auf dieser schwebt vermittelst des kleinen Hütchens

Fig. 88.

1 Ampère's weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand siehe unten E. 6. a.

2 Sturgeon's Drehapparat aus Tilloch's Phil. Mag. 1823. Sept. bei Schweigg. XLI. 241 übergehe ich seiner anscheinenden Bequemlichkeit ungeachtet, weil ich überzeugt bin, daſs bei der Kleinheit der Elektromotoren, welche sich selbst zugleich auch drehen sollen, überhaupt kein Erfolg zu erwarten ist. Besser ist Cumming's Drehapparat in Ann. of Phil. VII. 46. Indeſs steht auch dieser den beschriebenen nach.

3 Journ. N. R. XVI. 27.

v die sehr leichte, aber nicht zu kurze, wohl 6 Z. lange messingne oder kupferne Nadel n a mit einem krummgebogenen Ende Platin, bestimmt in das Quecksilber der Rinne zu tauchen, und einem kleinen Gegengewichte n, um das längere Ende zu balanciren[1]. Die Lage des magnetischen Poles und die Richtung des elektrischen Stromes sind an sich klar. Befindet sich unter dem Apparate der Südpol eines starken Magnetes, oder wirkt bloſs der, wiewohl ungleich schwächere, tellurische Magnetismus[2], welchem wir auf unserer Halbkugel südliche Polarität beilegen müssen, so erfolgt die Drehung durch N. nach O. S. W., wenn die + El. von N. her eintritt, und vom Quecksilber bei r im Drahte a aufwärts strömt. Denkt man nämlich nach dem Normalversuche den Draht a bei der angegebenen Strömung horizontal gehalten, so wird der Nordpol unter ihm eine östliche, mithin der Südpol eine westliche Richtung erhalten; und diesem nach muſs im letzteren Falle der Draht selbst durch O. und S. nach W. und N. herumlaufen.

8. Für das Umlaufen des galvanischen Leiters *um* einen magnetischen Pol hat Schweigger[3] gleichfalls einen sinnreich ausgedachten Apparat angegeben, an welchem noch obendrein die entgegengesetzte Wirkung der ungleichnamigen Pole gleichzeitig beobachtet werden kann. AB ist ein etwas starkes Brett von hartem Holze, an dessen beiden Seiten die kreisförmigen Rinnen g h; g′ h′ eingeschnitten sind, um das Quecksilber aufzunehmen. Im Centro dieser Rinnen sind von unten herauf die beiden Pole eines Hufeisenmagnetes N, S hinaufgeschoben, so daſs sie nur etwa eine Linie über die Fläche des Brettes hervorragen, wodurch die im Kreise der Elektricität befindlichen Nadeln zum Umlaufen um dieselben sollicitirt werden. Es tritt nämlich der elektrische Strom durch den Draht + E, welcher von unten herauf durch das Brett gesteckt ist, bei e in das Quecksilber der ersten Rinne, wird von diesem dem Ende a

Fig. 89.

1 Um durchweg die Verbindung vermittelst Quecksilbers zu erhalten, kann man noch bequemer der Nadel bei v eine feine verticale Stahlspitze, und dem oberen Ende des Drahtes t ein kleines Schälchen mit einem Tropfen Quecksilber geben.

2 Von diesen Erscheinungen wird erst im folgenden Abschnitte besonders geredet werden, indeſs anticipire ich diese kurze Andeutung bei dieser Gelegenheit.

3 Ebend.

des beweglichen Drahtes mitgetheilt, läuft von hieraus durch die Spitze n, welche das Ende eines rechtwinklich gebogenen Kupferdrahtes bildet, dessen Richtung durch das Holz zwischen dem Magnete und dem Quecksilber in der Rinne nach f, f′ bis + E, wo er in das Quecksilber der zweiten Rinne durch Umbiegung von unten aufwärts tritt, aus der Zeichnung ersichtlich ist. In der zweiten Rinne ist der Gang des elektrischen Stromes dem ersteren ganz gleich, bis der Draht — E zum zweiten Elektromotor geführt wird. Die leicht balancirten umkreisenden Nadeln sind genau so gemacht, wie die oben beschriebene, und die Richtung beider ist durch die Buchstaben in der Zeichnung angedeutet[1].

9. Dafs der *magnetische Pol* wiederum den *galvanischen Leiter umkreisen müsse*, ist genugsam erwiesen, und es sind die wesentlichsten hierhin gehörigen Erscheinungen oben (III. A.) erwähnt. Indefs wollte Faraday eine, der eben beschriebenen völlig analoge, Umkreisung hervorbringen, welches ihm auch gelang, und wegen des innigen Zusammenhanges beider Erscheinungen habe ich daher die Beschreibung dieser letzteren bis hierher verschoben. Faraday[2] leitete zu diesem Ende den Verbindungsdraht der Elektromotoren durch ein Gefäfs mit Quecksilber, in welchem er einen Magnetstab vermittelst einer gehörigen Menge um seinen einen Pol umgewickelten Platindrahtes so schwimmen machte, dafs blofs der andere Pol oben hervor-

---

1 Diese Apparate sind in einigen Stücken demjenigen nachgebildet, welchen Pohl bei G. LXXIV. 395 angegeben hat, um das Umlaufen eines beweglichen galvanischen Leiters um einen oberhalb oder unterhalb befindlichen magnetischen Pol, oder durch den Einfluss des tellurischen Magnetismus zu zeigen. Ist nämlich die in No. 7 angegebene Nadel leicht genug balancirt, so wird sie auch durch den unter ihr befindlichen tellurischen Südpol in umkreisende Bewegung versetzt werden. Pohl giebt hierbei die nützliche Regel, das Quecksilber möglichst rein und trocken anzuwenden, und ohne verdünnte Säure, welche leicht etwas Oxyd erzeugt, auch bei der Anwendung von blofs kupfernen Nadeln ohne Platinspitzen die Enden mit salpetersaurem Quecksilber etwas zu amalgamiren, dann aber das Quecksilber durch sie blofs berühren zu lassen, und sie zu diesem Ende mit Siegellackfirnifs zu überziehen, damit sie, aufser der unteren amalgamirten Fläche nicht weiter amalgamirt und dadurch tiefer in das Quecksilber gezogen werden. Vergl. G. LXXV. 272.

2 G. LXXI. 139.

ragte, welcher dann um den Verbindungsdraht im Kreise umlief. NEWMANN[1] verbindet die beiden durch FARADAY aufgefundenen Rotationen mit einander auf eine aus der Zeichnung leicht ersichtliche Weise. Die isolirende Säule A B trägt nämlich einen stärkeren Kupferdraht c d e, von welchem ein dünnerer in das mit Quecksilber gefüllte Gefäfs M herabgeht, und durch den hierin vermittelst Platin's schwimmenden Magnet p umkreiset wird. Der elektrische Strom nimmt dann seine Richtung durch die Fortsetzung dieses Drahtes von K aus durch den Draht m und den dickeren c d e, dann durch den in einem Oehre leicht aufgehangenen Platindraht n, welcher um den Magnetpol p′ umkreiset, während er dem Quecksilber im Gefäfse N. die Elektricität zuführt, die durch den Draht Z dem zweiten elektromotorischen Elemente wieder zuströmt[2]. Fig. 90.

10. Dafs sich diese Erscheinungen noch auf mannigfache Weise abändern und vervielfältigen lassen, versteht sich von selbst. Wollte man z. B. statt eines stählernen Magnetes einen elektromagnetischen aus schraubenförmigen Drahtwindungen bestehenden anwenden, so würde der Erfolg der nämliche seyn[3]. Statt eines Gefäfses mit Quecksilber kann auch eins mit Wasser genommen werden, auf welchem der Magnet vermittelst eines Korkes schwimmend erhalten wird. Man kann ferner zwei Verbindungsdrähte der Elektromotoren mit gleichen oder entgegengesetzten elektrischen Strömungen, und eben so zwei Magnete mit gleichen oder entgegengesetzten Polen anwenden, wie denn auch vielfache Abänderungen der beschriebenen Erscheinungen von FARADAY versucht sind; allein die hierzu erforderlichen complicirten Apparate, und die dadurch erhaltenen verwickelten Resultate dienen keineswegs dazu, die Sache mehr aufzuklären, vielmehr können sie leicht Verwirrung herbeiführen, und ich übergehe sie daher um so mehr, als mir nach sorgfältiger Prüfung kein genauer Versuch vorgekommen ist,

1 G. LXXII. 113.

2 AMPÈRE hat diese verschiedenen Drehungen in einem sinnreich construirten Apparate vereinigt, welcher unten No. 12 beschrieben ist. Seinen älteren Drehungsapparat hat JAMES MARSH verbessert, S. Tilloch's Phil. Mag. 1822 Juin, daraus in Bibl. univ. XX. 258. Indefs übergehe ich diesen der Kürze wegen.

3 Faraday bei G. LXXI. 142.

welcher sich nicht mit dem aufgestellten Hauptgesetze vereinigen ließe.

11. Ein Umstand ist indeß allerdings von der Art, daß er noch eine besondere Erwähnung verdient. C. H. Pfaff erzählt nämlich [1], daß er zur Widerlegung der Faraday'schen Behauptung der aus dem galvanischen Schließungsdrahte hervorgehenden anziehenden und abstoßenden Kräfte eine Vorrichtung hergestellt habe, bei welcher ein Magnet um einen lothrechten Schließungsdraht umherkreisete, und dieser sich zu gleicher Zeit in entgegengesetzter Richtung um seine Axe drehete, ohne daß hierdurch weder die Geschwindigkeit noch auch die Richtung des magnetischen Poles irgend eine Aenderung erlitt. Letzterer Erfolg ist aber nothwendig und im Wesen der Sache gegründet, ohne daß sich daraus etwas für oder wider eine der aufgestellten Theorieen folgern läßt. Die elektromagnetische Wirkung eines Schließungsdrahtes hängt nämlich durchaus nicht von seiner Form und auch nicht von denjenigen Theilen ab, welche nach der einen oder der andern Seite gerichtet sind, sondern bloß von der Leitung, welche er der durchströmenden Elektricität darbietet, und es ist nicht sowohl der Draht selbst, als vielmehr der Strom der Elektricität in ihm, welcher den Magnetismus in ihm hervorruft, gegen welchen er selbst ganz indifferent ist, außer sofern er der an ihn gebundenen Elektricität zum Vehikel dient, und seinerseits wieder den Magnetismus gebunden hält. So wie es daher rücksichtlich der elektromagnetischen Wirkung eines bestimmten Theiles des Leitungsdrahtes ganz gleichgültig ist, ob der Draht vor oder hinter diesem Theile auf die mannichfachste Weise gewunden und gerichtet wird, (oben III. A. 1.) eben so ist es auch ganz gleichgültig, ob derselbe bei unveränderter Richtung des elektrischen Stromes um seine eigene Axe gedreht wird oder nicht.

12. Uebrigens liegt es in der Natur der Sache, daß der elektromagnetische Leitungsdraht durch den Pol eines Magnetes sollicitirt werden muß, um seine Axe zu rotiren. Hat nämlich, abgesehen von jeder Theorie, und das bekannte *elektromagnetische Hauptphänomen* in seiner ganzen Einfachheit genommen, der Leitungsdraht A die von seinem Centro γ ausgehende Kraft [2], (Fig. 91.)

1 Der Elektromagnetismus S. 166.

2 Ueber dieses Vorhandenseyn der elektrischen Strömung, und

einem magnetischen Pole a eine Bewegung mitzutheilen, wodurch er in die Lage a' kommt, so muſs dieser hinwiederum jenen durch den Winkel $\alpha\gamma\alpha'$ um seine Axe zu drehen streben. Faraday[1] war der erste, welcher diesen Satz aus der ihm gelungenen Umkreisung eines Leitungsdrahtes um einen Magnetpol folgerte, ohne daſs es ihm gleich anfangs gelang, die Aufgabe durch einen Versuch zu lösen. Später hat er zwar auch dieses erreicht, allein es war abermals der unermüdete Ampère[2], welcher diese Andeutungen weiter verfolgte, und das gesuchte Phänomen durch einen sinnreich construirten Apparat darstellte, vermittelst dessen sich mit geringen Abänderungen die verschiedenen Rotationen hervorbringen lassen[3].

Fig. 92.

Der ganze Apparat besteht aus einem dreifüſsigen Tische, auf welchem das gläserne Gefäſs XY mit seinem Fuſse M feststeht. Einander diametral gegenüber ist an der einen Seite der kupferne Stab EF befestigt, an dessen unterem Ende das Schälchen mit Quecksilber O festsitzt, am oberen F aber der auf- und abwärts verschiebbare horizontale metallene Stab FG, mit einem kupfernen Ringe GIH, welcher etwas enger ist als die Oeffnung des Glases, und sich von oben herab so in dieses herabsenken läſst, daſs er das Quecksilber berührt, wie die Figur zeigt; an der andern Seite dagegen ist der runde Kork U durch eine Oeffnung im Tische gesteckt, und dient als Halter des Metalldrahtes AB mit einem Quecksilberschälchen O' an seinem unteren Ende, oben bei B horizontal, bei D lothrecht herabwärts gebogen, so daſs seine Spitze Z sich in der Axe des Glasgefäſses in das Quecksilber tauchen läſst. Im Quecksilber endlich schwimmt lothrecht der Magnetstahl NS mit seinem hervorragenden Pole N und unten mit einem eingeschobenen Platingewichte P. Wird dann der elektrische Strom vom Gefäſse O durch den kupfernen Ring zum Quecksilber im Glase XY, und von hier durch ZDBA zum Gefäſse O' geleitet oder umgekehrt, so wird der Magnet um den lothrechten Draht ZD nach der Richtung des elektrischen Stromes sich nach der einen

---

des dadurch erregten Magnetismus im Innern des Drahtes vergleiche unten IV.

1 G. LXXI. 139.

2 G. LXXII. 268.

3 Vergl. oben No. 9 u. 10.

oder der entgegengesetzten Seite umherbewegen. Die Ursache hiervon liegt in diesem lothrechten Ende des Leiters, und der kupferne Ring dient bloſs dazu, den Magnetpol allerseits durch den Leiter der Volta'schen Elektricität zu umgeben, und nicht zwischen zwei Leiter zu bringen, indem die Wirkung auch dann erfolgt, wenn die Leitung unten durch das Quecksilber geht, wie NEWMANN's Apparat (oben No. 9) beweiset[1].

13. Eben diesen, nur wenig abgeänderten Apparat benutzt AMPÈRE[2], um die Drehung eines beweglichen Leiters um seine eigene Axe hervorzubringen. Zu diesem Ende wird auf die kupferne Säule EF eine Glassäule gekittet, welche den kupfernen Arm LK mit der Hülse K trägt. Durch diese wird ein Magnet cc' senkrecht herabgelassen, und mit der Schraube V festgeklemmt. An dem unteren Ende c' des Magnetes ist eine stählerne Spitze eingeschroben, nachdem zuvor in die Vertiefung der Schraube etwas Quecksilber gegossen und dann die Spitze so eingeschroben ist, daſs das Quecksilber zu vollständigerer metallischer Verbindung sich zwischen die Schraubenwindungen setzt. Der Draht ABD wird dann so weit heraufgezogen, daſs seine Spitze Z in eine mit Quecksilber gefüllte Vertiefung im andern Ende des Magnetes herabgeht. In dem Quecksilber des Gefäſses schwimmt ein Kupferdraht NN, an dessen unterem Ende sich ein Stück Platin befindet, um ihn in lothrechter Richtung zu erhalten, am oberen aber das mit Quecksilber gefüllte Schälchen UV, in welches die stählerne Spitze des in den Magnet geschrobenen Stückes herabgeht, und somit also den Kreislauf der Elektricität vom Gefäſse O' zum Gefäſse O herstellt, wodurch der Kupferdraht vermöge des Einflusses des Magnetes in eine Drehung um seine Axe versetzt wird.

Fig. 92.

Fig. 93.

Um auch dieses Phänomen mit allen übrigen unter das all-

---

1 Die Erklärung, welche AMPÈRE und seine Anhänger, namentlich DEMONFERRAND in Handbuch der dynamischen Elektr. §. 77 von dieser Erscheinung geben, lasse ich weg, weil sie nicht durch die Beobachtung gegeben ist, sondern aus seiner Theorie folgt. Man findet sie auch bei Gilbert a. a. O. Es scheint mir weit zweckmäſsiger, alle Phänomene vorläufig auf ein eben so einfaches als unbestreitbares Hauptphänomen, was der berühmte Erfinder dieses Gegenstandes zuerst entdeckte, zurückzuführen.

2 a. a. O. S. 173.

gemeine Gesetz zu bringen, darf man sich nur vorstellen, dafs die den magnetischen Pol a nach a' treibende Kraft sich bis α' erstrecke, der bewegte Magnetpol aber nach γ zu bis hinter α' und zuletzt bis in γ selbst gerückt werde, wonach dann die Drehung des Kreises A nothwendig erfolgen muss. Indefs ist hierbei die Hebelkraft geringe, und daher die Drehung auch nicht blofs langsam, sondern so schwach, dafs man durch einige Erschütterung den bewegenden Kräften zu Hülfe kommen mufs. Es wird aber die Drehung schneller und läfst sich durch kleinere Elektromotore erhalten, wenn statt eines massiven Stabes NN eine kupferne Röhre genommen wird, welche dann zur Erhaltung einer lothrechten Lage nur eines geringeren Platingewichtes bedarf. Bei einer solchen hohlen Röhre ist allerdings die zu bewegende Masse geringer, und würde sonach auch nur einer geringeren Kraft zur Erzeugung einer Bewegung bedürfen. Allein da das Gewicht in dem vorliegenden Falle statisch im Quecksilber getragen wird, mithin rücksichtlich der Masse nur anfangs die Trägheit zu überwinden ist, die Adhäsion der Röhre an das Quecksilber aber wegen gröfserer Oberfläche gröfser ist als bei einem massiven Stabe, so scheint die Winkelkraft $a\gamma a'$ bei der Röhre gröfser zu seyn, weil die elektromagnetischen wirksamen Puncte $\alpha\alpha'$ (wenn man sich anders dieses Ausdrucks bedienen will) in ihr weiter vom Centro γ entfernt liegen, oder in dem Metalle der Röhre einen stärkeren Widerhalt haben, als im massiven Stabe.

Fig. 91.

14. Einen sinnreich construirten Apparat hat Barlow[1] erfunden, und man mufs gestehen, dafs bei demselben die Wirkung des Magnetes auf den Leiter der galvanischen Elektricität beim ersten Anblicke etwas paradox scheint. Barlow fand nämlich, dafs der Draht im Faraday'schen Rotationsapparate (oben No. 6.) durch einen genäherten Hufeisenmagnet aus dem Quecksilber gezogen wurde, und alsobald in dasselbe zurückfiel, weswegen er glaubte, man könne auf diese Weise eine dauernde Bewegung hervorbringen. Die hierzu gewählte Vorrichtung ist folgende. AB ist ein vierkantiges Brett von hartem Holze, worauf die zweimal gebogene kupferne Stange CDE ruhet. An dieser befindet sich der dünnere Kupferdraht abcd angelöthet, welcher unten durchschnitten, und mit feinen Pfannen versehen

Fig. 94.

---

1 Bibl. univ. XX. 127.

ist, damit das kupferne Rad VW mit den sehr feinen stählernen Spitzen seiner Axe aa' hineingesenkt, sich sehr leicht bewegen kann. In der Mitte hat das Brett eine Vertiefung fg mit einer etwas hervorlaufenden Rinne i, worin Quecksilber ausgegossen und zum Ueberfluſs mit einer Lage sehr verdünnter Salpetersäure bedeckt ist. Endlich wird ein starker Hufeisenmagnet HM in die Lage gelegt, welche die Zeichnung angiebt. Setzt man den Kupferdraht CDE mit dem einen Pole eines stark wirkenden Volta'schen Apparates in Verbindung, den andern mit dem Quecksilber in der Rinne i, so fängt das Rad an um seine Axe zu laufen, und zwar mit einer solchen Geschwindigkeit, daſs das Auge nicht folgen konnte. Um indeſs dem elektrischen Strome eine hinlänglich gute Leitung darzubieten, müssen die Zapfenlager, die Zapfen selbst und auch die Zähne des Rades amalgamirt seyn[1]. Barlow bediente sich bei seinen Versuchen eines Hare'schen Calorimotors aus 20 Kupfer- und Zink-Platten, jede von 10 Z. Seite; doch soll auch ein schwächerer Apparat die Wirkung hervorbringen. Werden die Pole der elektrischen Leiter oder die des Magnetes umgekehrt, so wird die Drehung des Rades die entgegengesetzte.

Fig. 95.

Will man diese Erscheinung auf das anfangs aufgestellte allgemeine Gesetz zurückbringen, *daſs der magnetische Pol um den Verbindungsdraht zweier Elektromotoren herumläuft*, so darf man nur auf den No. 5 beschriebenen Versuch zurückgehen, wonach das Ende des Drahtes ab unter den gegebenen Bedingungen durch den Nordpol des Magnetes herabgezogen wird, wenn dieser sich an der Auſsenseite desselben befindet, an der innern würde er ihn aber in die Höhe heben, und dort wird ihn also der Südpol gleichfalls herabziehen. Werden also die beiden freundschaftlichen Pole eines Magnetes dem Drahte an den entgegengesetzten Seiten genähert, so muſs derselbe mit verdoppelter Kraft *herabgezogen* oder in die *Höhe gehoben* werden. Denkt man sich also, daſs jeder Zahn des Rades vor seiner Berührung mit dem Quecksilber das Ende eines solchen Drahtes bilde, so muſs die Drehung hiernach nothwendig erfolgen, und wenn das ganze Rad im elektrischen Strome liegt, so geht dieser auch durch jeden einzelnen Zahn desselben, welcher sonach füglich als ein Theil eines galvanischen Verbin-

Fig. 86.

1 Wie dieses Amalgamiren geschieht, ist oben II. a. E. gezeigt.

dungsdrahtes angesehen werden kann. Es läſst sich nach dieser Ansicht auch leicht die *Richtung* finden, nach welcher das Rad unter gegebenen Bedingungen umlaufen wird.

15. Hiernach bedarf eine Beobachtung Hare's keine weitere Erklärung. Dieser fand nämlich, daſs ein feiner Strahl Quecksilber, welcher aus einem, mit dem einen Pole seines sehr wirksamen Calorimotors in Verbindung gesetzten, Gefäſse auf den einen Fuſs eines starken Magnetes herabfloſs, dessen anderer Fuſs mit dem andern Pole des Elektromotors verbunden war, je nach der Richtung des elektrischen Stromes und der Wahl der magnetischen Pole einwärts oder auswärts gekrümmt wurde [1].

16. Unter die bisher betrachtete Classe von Erscheinungen gehören auch die sehr interessanten von Davy aufgefundenen mindestens zum Theil, obgleich sie sammt ähnlichen Beobachtungen von Erman [2] und Herschel [3] der Hauptsache nach den durch bloſsen Galvanismus hervorgerufenen Bewegungen der Flüssigkeiten beigezählt werden müssen. H. Davy [4] senkte nämlich zwei Enden Kupferdraht $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Z. tief lothrecht in ein Gefäſs mit Quecksilber, brachte sie in Verbindung mit einem mächtigen Volta'schen Apparate von 200 Quad. F. Metallfläche, und fand beim Halten eines starken Magnetes über oder unter den Drähten, noch mehr aber, wenn er die freundschaftlichen Pole von zwei Magneten einen *über*, den andern *unter* die Drahtenden hielt, eine starke Rotation des Quecksilbers um diese Drähte. Darauf steckte er zwei Kupferdrähte, welche an ihren Enden polirt und übrigens mit Siegellack überzogen waren, von unten durch den Boden eines gläsernen Gefäſses, goſs in letzteres Quecksilber, so daſs es $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Z. über die Drahtenden überstand, verband sie dann mit den Polen der Säule und fand eine Strömung des Quecksilbers zwischen ihnen in der Art, daſs das Quecksilber sich in Gestalt kleiner Kegel bis eine Linie hoch erhob. Näherte er diesen Kegeln einen Magnet, so wurden sie der gröſseren Annäherung proportional niedergedrückt, und verwandelten sich in Wellen, welche das

1 Ann. of Phil. N. XLVI. 317.

2 G. XXXII. 261.

3 Phil. Trans. 1824. I. 162. Vergl. Edinb. Journ. of Science. IV. 193. Ann. Ch. et Ph. XXVIII. 280.

4 Phil. Tr. 1823. II. 153.

Ende der Drähte concentrisch umgaben, aufgestreueten Körperchen aber keine fortgehende Bewegung mittheilten, indem diese letzteren vielmehr ohne Veränderung ihres Ortes gehoben wurden und niedersanken, wie eine ähnliche Wirkung auch bei den Meereswellen statt findet.

Es lassen sich diese Strömungen auch mit kleineren Apparaten erhalten, wenn man die beiden Drähte N, P einer Volta'schen Säule in das Gefäſs XY mit Quecksilber senkt, und den Magnet AB oder ein Bündel Magnete mit ihren gleichen Polen von oben herab über der Fläche des Quecksilbers zwischen beiden Drähten hält. So wie aber ein *beweglicher* Magnet zum Umkreisen gebracht werden kann, so muſs auch hier eine Umkreisung um den *festgehaltenen* entstehen, welche stärker ist, weil man einen starken Magnet anwenden darf. Um dieselbe leichter wahrnehmbar zu machen, wird etwas gesäuertes Wasser auf das Quecksilber gegossen, damit durch die Gasentwickelung kleine Bläschen entstehen, deren Bewegung die Richtung der Ströme angiebt. Wenn man beide Drähte so nahe an einander in das Quecksilber eintaucht, daſs ein Magnet auf beide zugleich zu wirken vermag, z. B. in einem Abstande von 1 bis 2 Zollen, so werden die Blasen, welche ohngefähr an der Mitte der, beide Eintauchungspuncte verbindenden, Linie befindlich sind, nach einer auf diese Linie senkrechten Richtung fortgetrieben, aus welcher sich dann die Richtung der Ströme beurtheilen läſst. Daſs diese sich ändert, wenn man die Pole des Magnetes oder die Schlieſsung des galvanischen Kreises umkehrt, oder auch den nämlichen Pol zuerst von oben dann von unten dem Quecksilber nähert, liegt in der Natur der Sache [1]. Die Erscheinung selbst läſst sich auf den Fundamentalversuch Oersted's einfach zurückführen, wenn man annimmt, daſs die Leitungsdrähte ihren eigenthümlichen Magnetismus eben so dem Quecksilber mittheilen, als er in ihrer Umgebung vorhanden auf die Magnetnadel wirkt, und daſs dann der genäherte Magnet im Quecksilber die beobachtete Bewegung verursacht.

Fig. 96.

17. Hieran reihet sich ein höchst interessanter Versuch, welcher leider nur wenigen zugänglich ist. H. Davy lieſs durch Pepys die groſse Volta'sche Batterie des Royal Institution aus 2000 Doppelplatten Zink und Kupfer in Thätigkeit setzen, wo-

1 Demonferrand a. a. O. S. 162.

bei eine Mischung aus 1168 Th. Wasser mit 108 Th. Salpetersäure und 25 Th. Schwefelsäure angewandt wurde. Die beiden Schliefsungsdrähte waren mit Kohlenstreifen versehen, und zwischen diesen entstand ein Flammenbogen oder eine Säule elektrischen Lichtes, welche in Gemäfsheit der weniger oder mehr verdünnten Luft, worin sie hervorgebracht wurde, eine Länge von 1 bis 4 Z. hatte. Wurde diesem Bogen oder dieser Säule ein mächtiger Magnet unter einem sehr spitzen Winkel mit seinem einen Pole gegenüber gehalten, so wurde sie von demselben mit einer rotirenden Bewegung angezogen oder abgestofsen, oder nach der verschiedenen Lage der Pole zum Umkreisen gebracht, und zwar, wenn die negative Seite der Batterie rechter Hand stand, bewirkte der Nordpol Abstofsung, der Südpol Anziehung. Der Magnet wirkte auf die elektrische Flammensäule leichter, und ihre Bewegung war schneller, wenn sie durch dichtere Luft ging, als durch verdünnte [1].

18. Vor allen Dingen verdient hier noch ein Versuch von Pohl erwähnt zu werden [2], welcher um so wichtiger ist, als durch diesen allein die so vielfach bestrittene Frage über polare Linien im Umfange des galvanischen Leiters ihrer Beantwortung etwas näher gerückt zu werden scheint. Pohl verfertigte einen sehr leichten cylindrischen Reif von leichtem Kartenpapier 2 Z. im Durchmesser und 1 bis 1,5 Z. Höhe haltend, schlofs ihn oben mit einem sehr dünnen Glimmerblättchen, und überzog das Ganze auf beiden Seiten mit Stanniol, welcher durch die punctirte Linie angedeutet ist. Eine Stahlspitze unten machte ihn in dem Quecksilberschälchen a drehbar, und das Quecksilber im oberen Behälter b stellte die Verbindung zwischen den beiden Polen der Elektromotore her, so dafs dieselbe von oben her durch den ganzen Umfang des Cylinders ging. Eine diesem letzteren genäherte Magnetnadel zeigte zwar überall eine gleiche Abweichung, wurde aber der Pol eines starken Magnetes genähert, so zeigten sich in einem Abstande von etwa $\frac{1}{8}$ des Umfanges entgegengesetzte polare Linien, welche Pohl von partieller Leitung ableitet, indefs verdient der Versuch allerdings mit vorzüglich starken Apparaten wiederholt zu werden, indem

Fig. 97.

1 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 244.
2 G. LXXIII. 252.

auf diesem Wege vielleicht die Theorie des Elektromagnetismus zur Begründung kommen könnte.

19. Schliefslich mufs, in Beziehung auf die in diesem Abschnitte untersuchten Erscheinungen noch bemerkt werden, dafs die Einwirkung des stärksten, dem Leitungsdrahte genäherten, Magnetes den Magnetismus desselben weder erhöhen, noch schwächen, noch auch umkehren kann, wie solches bei einem natürlichen oder künstlichen Magnete der Fall ist. Schon Erman[1] bemerkte dieses bei seinen frühesten Versuchen, und die Ursache hiervon liegt ohne Zweifel darin, dafs der Stahl für den Magnetismus in gewissem Sinne ein Nichtleiter ist, und die in ihm einmal bewirkte Trennung beider Magnetismen durch äufsere Einwirkung afficirt werden kann. Der elektrische Leitungsdraht dagegen ist ein Leiter des Magnetismus, die Hervorrufung desselben geschieht in jedem Augenblicke aufs Neue durch den elektrischen Strom, welcher, als hierbei wirkende Ursache, durch den Magnet nicht selbst afficirt wird, folglich auch in seiner Wirkung dadurch nicht gestört werden kann. Diesem analog ist Poggendorf's Beobachtung, dafs ein Magnet, welcher einen Theil des elektrischen Leiters bildet, hierbei blofs als Metall wirksam ist, ohne Einflufs seiner Polarität.

D. Wirkung des tellurischen Magnetismus auf die elektrischen Leiter.

Es ist oben (unter C im Anf.) schon bemerkt, dafs ein jeder Leiter des elektrischen Stromes, welcher durch einen Magnet in Bewegung gesetzt wird, auch dem Einflusse des tellurischen Magnetismus folgen mufs, wenn er anders hinlänglich beweglich ist, um durch diese geringe Kraft bewegt zu werden. Dafs aber die Kraft des tellurischen Magnetismus sehr geringe sey in Vergleichung mit derjenigen, welche natürliche oder künstliche Magnete besitzen, davon überzeugt man sich bald, wenn man berücksichtigt, wie leicht die durch den tellurischen Magnetismus in ihrer Lage erhaltenen Magnetnadeln durch einen nur schwachen Magnet abgelenkt werden. Diesem nach können nur wenige der beschriebenen Apparate dazu dienen, elektromagnetische Magnetnadeln abzugeben; indefs hat man eine genügende Menge solcher Vorrichtungen construirt, welche deut-

1 Umrisse u. s. w. S. 22.

lich zeigen, dafs auch der elektrische Leitungsdraht sich in dieser Hinsicht als eigentlichen Magnet zeigt.

1. Die oben (III. A. 11.) beschriebene Spiralscheibe erhält im Kreise der galvanischen Elektricität bei nicht zu schwachen Elektromotoren eine solche magnetische Intensität in ihrem Centro, dafs sie die Pole starker Magnetnadeln ablenkt und festhält. Ist sie daher an den Enden des Drahtes, woraus sie gewunden wurde, durch Einsenken derselben in Quecksilber in den elektrischen Strom gebracht, und entweder auf feinen Spitzen dieser Enden oder an einem ungezwirnten Seidenfaden hinlänglich beweglich balancirt, so wird sie sich mit ihrer Nord- und Südseite nach diesen beiden Weltgegenden einrichten, folglich mit ihrer Fläche den magnetischen Meridian normal durchschneiden.

2. Auch der oben (III. C. 1.) beschriebene Ermansche Rotationsapparat zeigt zum Mindesten einiges Bestreben, sich nach seiner Polarität in den magnetischen Meridian zu richten, insbesondere wenn er unter einer Glasglocke befindlich gegen jeden Luftzug gesichert ist. Allein die Aeufserungen dieser Polarität sind nur schwach, und man mufs, um die Wirkungen mit Sicherheit zu erhalten, zu den spiralförmigen oder noch besser zu den schraubenförmigen Windungen des Leitungsdrahtes seine Zuflucht nehmen. Aus der (oben III. B. 11.) gegebenen Darstellung der Art, wie ein solcher gewundener Draht wirkt, ergiebt sich nämlich sehr auffallend, dafs beide Polaritäten durch die Zahl der Windungen an Stärke zunehmen müssen. Man wendet daher auch gegenwärtig nur solche Windungen an, wenn man sogenannte elektrische Magnete darstellen will.

3. Ampère, welcher durch seinen unermüdeten Eifer und die vielen von ihm ausgesonnenen Apparate die neue Entdekkung so ausnehmend gefördert hat, dafs er mit Recht der Begründer des Elektromagnetismus in dem Umfange, wie wir ihn jetzt kennen, genannt werden kann, war der erste, welcher einen aus schraubenförmig gewundenem Drahte nachgebildeten Magnet darstellte, und obgleich derselbe, wahrscheinlich wegen seines zu grofsen Gewichtes und der minder leicht beweglichen Balancirung sich durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus nicht in den magnetischen Meridian richten wollte, so verdient doch dieser erste Apparat als das Muster aller späteren des geschichtlichen Interesses wegen aufbewahrt zu werden. Dafs diese Ursache die alleinige des Nichtgelingens dieses

Versuches war, geht sehr augenfällig daraus hervor, dafs Ampère einen blofsen kreisförmigen, aber sehr leicht schwebenden Draht durch den Erdmagnetismus bewegt werden und sich polarisch richten sah[1]. Der eigentlich für diesen Zweck bestimmte, aber schon durch die gebrauchten Glasröhren zu schwere Apparat war auf folgende Weise construirt. Fig. 98. Ein Messingdraht, dessen eine Spitze in das mit Quecksilber gefüllte Gefäfs N am Glasstabe ROP gesenkt war, ging in der Richtung KHF zweimal gebogen herab, wurde bei F in eine krummgebogene Glasröhre gesteckt, durch dieselbe geführt, bei B in schraubenförmigen Windungen um dieselbe geschlungen, ging zur zweiten Glasröhre C bis A in gleichen Windungen fort, war hier wieder durch die Glasröhre geführt bis D, von wo aus er sich bei G in das zweite Quecksilbergefäfs M senkte. Wurden dann die beiden Leiter der Elektricität von den entgegengesetzten Polen eines Elektromotors in die Quecksilbergefäfse getaucht, so mufste dieses Drahtgewinde einen bipolaren Magnet bilden[2]. Diesen nämlichen Apparat machte v. Althaus an einem Seidenfaden schweben, und erhielt den gewünschten Erfolg[3].

4. Wenn bei der grofsen Fülle elektromagnetischer Apparate die durch Neef[4] angegebenen schwimmenden Nadeln, und die durch de la Rive[5] diesen sinnreich nachgebildeten, gegenwärtig durch zweckmäfsigere Vorrichtungen verdrängten, übrigens aber nicht blofs dem Magnete, sondern auch dem tellurischen Magnetismus gehorchenden elektromagnetischen Nadeln der Kürze wegen nur geschichtlich erwähnt werden dürfen, so gebührt dagegen Raschig's[6] mikroelektromagnetischem Compafs für immer eine Stelle in vollständigen Sammlungen dieser Apparate. Dieser ist dem eben beschriebenen Ampère's nachgebildet, aber dem gewünschten Zwecke um so mehr angemessen, als er ganz nach Art einer wirklichen Magnetnadel durchaus freie Bewegung hat. Man nimmt zu demselben einen gewöhnlichen Federkiel, schabt ihn zum Ueberflufs noch etwas

---

1 G. LXVII. 254.
2 G. LXVII. 238.
3 Versuche über den Elektromagnetismus. S. 18.
4 Schweigg. Journ. XXXI. 32.
5 G. LXIX. 81.
6 G. LXIX. 207. Vergl. LXVII. 431.

dünner, umwickelt ihn schraubenförmig mit feinem übersponnenen Kupferdrahte, und bindet diesen an beiden Enden mit Seide fest, führt das eine Ende desselben a d herabwärts, und löthet es bei h an eine kleine Zinkscheibe, das andere Ende b c aber bei i an einen etwas platt geklopften kupfernen oder silbernen Fingerhuth, oder einen diesem ähnlichen kleinen Becher e, welcher mittelst zweier Seidenfäden f g an dem Federkiele aufgehangen ist, bringt den Federkiel selbst an den zwei Fäden m, n in eine horizontale Lage, und hängt ihn frei und leicht beweglich an einem zum Tragen desselben hinreichend starken, übrigens möglichst feinen, Faden ungezwirnter Seide auf. Am besten versieht man ferner den Zinkstreifen mit einer über seine drei, im kupfernen Becherchen befindlichen, Kanten aufgetragenen mäfsig dicken Lage Siegellack, und befestigt ihn in der Mitte des Fingerhutes stehend vermittelst zweier hervorragender Knöpfchen Siegellack, so dafs er mitten zwischen den Seitenwänden des Kupfers aufrecht steht, ohne metallische Berührung mit demselben, und ohne die Communication der Flüssigkeit von seiner einen Fläche zur andern zu hindern. Wird dann der Becher mit der oben (II. B. 3.) erwähnten Solution von schwefelsaurem Zinke gefüllt, welche wegen ihrer hierfür hinlänglich dauernden Wirkung, und indem sie weder die Zinkplatte noch auch die Seide angreift, für diesen Zweck jeder andern Flüssigkeit vorzuziehen ist, so wird der Apparat nach einigen Schwankungen sich mit seinen Polen in den magnetischen Meridian einstellen, und die Eigenschaften einer gewöhnlichen Declinationsnadel zeigen.

Fig. 99.

Statt des eigenen Bechers läfst sich der oben (III. C. 1.) beschriebene Erman'sche doppelte Cylinder für diesen Zweck einrichten. Zum Mindesten habe ich selbst den angegebenen, von feinem Silber möglichst dünn gearbeiteten, dazu gebraucht, ihn mit einer Federspuhle versehen, welche etwa 60 Mal vom Drahte umwunden ist, diese in ihrer Mitte auf ein seidenes Läppchen horizontal über den hohlen Cylinder von Zink zwischen die Fäden *α α* gelegt, die Drahtenden in die Quecksilberbehälter s und l gesenkt, und das Ganze unter einer Glasglocke aufgehangen. Ein genäherter Magnet bringt ihn aus seiner magnetisch polaren Richtung, in welche er sich durch den Einflufs des Erdmagnetismus stellt.

Fig. 80.

5. Ampère suchte indefs darzuthun, dafs der Einflufs des

tellurischen Magnetismus auch einfache elektromagnetische Leitungsdrähte in Bewegung setzen müsse. Statt des anfänglich hierzu vorgeschlagenen Apparates hat er später zwei sinnreich ausgedachte angegeben[1]. Der kreisförmig gebogene Draht a b c, dessen Enden mit Seidenfäden zusammengebunden und mit den feinen Spitzen y, x vereinigt sind, werden mit diesen letzteren in die gleichmäſsig bezeichneten Quecksilberschälchen des allgemeinen Apparates (III. C. 3.) gesenkt. Nach geschlossener galvanischer Kette strömt die Elektricität durch den Draht in einer oder in der entgegengesetzten Richtung, macht dadurch seine eine Fläche nordpolarisch, die andere südpolarisch, und bewirkt hierdurch, daſs er nach einigen Schwankungen sich mit seiner Fläche auf den magnetischen Meridian normal gerichtet einstellt. Weil aber die Arme, welche den Quecksilberschälchen x, y zu Trägern dienen, seine freie Bewegung hindern, so gab er ihm die folgende Einrichtung. Der kreisförmig gebogene Draht hat unten eine runde Oeffnung a b, welche über den Träger des Quecksilberschälchens S am allgemeinen Apparate herabgesenkt werden kann, so daſs die feine Spitze s in dasselbe eintaucht. Am andern Ende des Drahtes befindet sich das kleine Quecksilberschälchen d, und in dieses ist der Draht e f gesenkt, dessen andere Spitze e vermittelst der kleinen Zwinge b' im Quecksilberschälchen y' des allgemeinen Apparates festgehalten, und sonach der frei schwebende gebogene Draht in den galvanischen Kreis gebracht wird, durch dessen veränderte Richtung derselbe sich nach einigen Schwankungen polarisch einstellt, oder auch durch schnellen Wechsel dieser Richtung zum anhaltenden Umkreisen gebracht werden kann.

Fig. 100. Fig. 101.

6. Es versteht sich von selbst, daſs man statt eines kreisförmigen Drahtes auch einen rechtwinklich gebogenen wählen kann, und die Wirkung wird auch dann nicht ausbleiben, wohl aber um die Hälfte schwächer seyn, wenn der elektrische Strom nur die eine Hälfte des Rectangels durchläuft. Ein solcher Draht, dessen Spitze y' in das gleichmäſsig bezeichnete Quecksilberschälchen gesenkt ist, so daſs der elektrische Strom durch a b c d e f bis s gelangt, welche letztere Spitze in das Quecksilberschälchen S getaucht die Fortsetzung des elektrischen Stromes zum zweiten Elektromotor gestattet, wird, durch das Ge-

Fig. 102.

1 Ann. Chim. Ph. XXVI. 405.

gengewicht p balancirt, sich gleichfalls mit seiner Fläche rechtwinklich auf den magnetischen Meridian einstellen, allein dieses geschieht nicht bloſs durch den aufsteigenden oder herabgehenden elektrischen Strom, wie Demonferrand[1] angiebt, sondern eben so sehr durch den horizontalen, indem bloſs das Stück cd des Drahtes nichts zur Wirkung beiträgt. Wenn man den Draht bei s nicht in das Quecksilber senkt, sondern von hieran rückwärts neben dem ersten parallel laufend wieder zurückführt, und oben mit noch einer Spitze versieht, so daſs er sich in den beiden Schälchen x′, y′ frei drehen kann, so wird er ruhen, weil die alsdann einander parallelen entgegengesetzten Strömungen sich wechselseitig aufheben. Eben dieses muſs der Fall seyn, wenn der elektrische Strom zwei einander gegenüberstehende Rectangel abcd und $d\beta\gamma\delta$ durchläuft. Ist indeſs ein solcher Apparat so eingerichtet, daſs der Abstand des Leitungsdrahtes bc vom Mittelpuncte der Drehung gröſser, mithin seine Hebelkraft ungleich stärker ist als im Drahte ad, so wird die Richtung des ersteren nach Osten oder Westen allerdings erfolgen[2].

Fig. 103.

Fig. 104.

7. Der tellurische südpolare Magnetismus wirkt indeſs unmittelbar weder in *horizontaler* noch in *lothrechter* Richtung auf die beweglichen Leiter, wie dieses bei den bisher beschriebenen und den weiter folgenden Apparaten der Bequemlichkeit wegen angenommen ist, sondern in derjenigen Richtung, welche unter jedem Grade der Breite durch die Inclinationsnadel angegeben wird. Indem aber das Umlaufen einer Magnetnadelspitze um den elektrischen Leiter, und die diesem entgegengesetzte des letzteren um einen Magnetpol nur auf tangentielle Kräfte zurückgebracht werden kann, welcher Theorie man auch huldigen möge, so können nur diejenigen Kräfte den beweglichen Leiter in einer horizontalen und in einer verticalen Ebene sollicitiren, welche man durch die Zerlegung der in der Richtung der Inclinationsnadel wirkenden Kraft in ihre componirenden, auf die genannten Ebenen lothrecht gerichteten erhält.

---

1 Handbuch der dynamischen Elektricität. S. 87.

2 Der etwas zusammengesetztere Apparat, welchen Pohl bei G. LXXIV. 401. angegeben hat, ist in so fern vorzüglicher, als an demselben entschieden bloſs die Wirkung lothrechter Drähte beobachtet werden kann.

Pohl hat das unverkennbare Verdienst um die elektromagnetischen Erscheinungen, diese Zerlegung der richtenden Kraft am vollständigsten und gründlichsten vorgenommen, auf gerade, krumme und beliebig gegen den Horizont geneigte bewegliche Leiter angewandt, und die theoretische Demonstration durch geeignete Versuche erläutert zu haben[1]. Unter den verschiedenen von ihm beobachteten Erscheinungen verdient insbesondere folgende hier eine Aufnahme.

Es folgt aus dem Gesagten nothwendig, dafs die bewegende Kraft des tellurischen Magnetismus auf einen geraden, in der Richtung der Inclinationsnadel gegen den Horizont geneigten galvanischen Leiter = 0 seyn mufs. Ist Letzterer aber um eine lothrechte Axe in einem Kreise auf eine solche Weise beweglich, dafs er mit derselben stets einen gleichen Winkel bildet, als welchen die Inclinationsnadel mit ihr macht, so wird die eine der componirenden Kräfte, worein die bewegende Kraft des tellurischen Magnetismus zerlegt werden kann, ihn zu sollicitiren anfangen, sobald er die der Inclinationsnadel parallele Lage verläfst, und wird ihr Maximum erreichen, wenn er sich dieser diametral gegenüber im Süden befindet. Das Verhältnifs dieser von 0 bis zu einer endlichen Gröfse wachsenden Kraft, welche den galvanischen Leiter im Azimuth umherbewegt, wird sich ändern, und mit einem endlichen Werthe anfangend mehr oder minder zunehmen, je nachdem der Winkel ist, welchen der bewegliche Leiter mit der Inclinationsnadel bildet, den anfänglichen Stand desselben im Norden angenommen, bis sie für 90 Grade verschwindet, in welchem Falle der bewegliche Leiter astatisch werden würde. Um einige der vorzüglichsten Erscheinungen, welche aus dieser theoretischen Betrachtung folgen, durch einen Versuch zu beweisen, befestigte Pohl auf ei-

1 G. LXXIV. 389. LXXV. 269. Die dort mitgetheilten Berechnungen und Versuche verdienen nach meiner Ansicht mehr Aufmerksamkeit, als sie bei denjenigen gefunden haben, welche sich noch später mit diesem Theile der Naturlehre beschäftigten, indem die geometrischen Demonstrationen alle elektromagnetischen Phänomene aus einem einfachen Principe bündig ableiten. Dafs ich sie in dieser Abhandlung nicht aufgenommen habe, geschah deswegen, weil ich bei dem ohnehin grofsen Umfange, um niemanden zu nahe zu treten, überhaupt keinen Calcül aufnehmen wollte. Vergl. unten Theorie IV. D. 5.

nem Brette AB eine kreisförmige Rinne $\alpha\beta$ mit Quecksilber, errichtete in der Mitte derselben den Träger ce, auf welchem bei e ein Achathütchen befestigt war. In diesem ruhete vermittelst einer feinen Stahlspitze der Kupferdraht hfg, dessen kürzeres Ende durch das bewegliche Gegengewicht h balancirt wurde, während die untere Fläche des längeren das Quecksilber in der Rinne berührte, welchem durch das kleine Quecksilberschälchen f und die aus der Zeichnung an sich klaren Leitungsdrähte der elektrische Strom so zugeführt wurde, dafs sich durch eine aus der Zeichnung ersichtliche zweckmäfsige Vorkehrung die Richtung leicht umkehren liefs. Der Winkel, welchen der Draht fg mit dem Horizonte macht, ist willkührlich, und läfst sich innerhalb gewisser Grenzen abändern, wenn man den Träger ce verkürzt oder verlängert[1]. In einem Versuche war derselbe 71°, und also die bewegende Kraft in Norden = 0, welches sich auch zeigte, wenn man ihn in dieser Lage anhielt. Bei der geringsten Entfernung von diesem genau nördlichen Stande fing er indefs an sich langsam durch O. oder W., je nachdem die Richtung des elektrischen Stromes war, zu bewegen, gelangte mit dem Maximo seiner Geschwindigkeit nach S. und wurde dann mit abnehmender Geschwindigkeit weiter getrieben, so dafs er in einem ganzen Kreise umzulaufen fortfuhr.

Fig. 105.

8. Indefs erscheint beim Versuche selbst ein einfacher gebogener Draht gegen den Einflufs des tellurischen Magnetismus unempfindlich, wenn sein Gewicht etwas gröfser, der galvanische Strom minder kräftig und die Reibung nebst dem Widerstande des Quecksilbers zu stark sind. Man nimmt daher auch hierbei seine Zuflucht zu den Spiralscheiben, deren zwei an das Ende einer beweglich aufgehangenen Glasröhre so befestigt sind, dafs ihre beiderseitigen Flächen entweder auf der Axe der Glasröhre lothrecht stehen, oder mit derselben in der *nämlichen* oder einer *parallelen* Ebene liegen. Die Art des Aufhängens dieser Apparate, um den galvanischen Strom durch sie zu leiten, ergiebt sich aus der Zeichnung, und die Richtung, welche sie dann nehmen werden, folgt aus dem oben (III. A. 11.) an-

Fig. 106.

1 Die Vorrichtung, welche allerdings einen Theil der elektromagnetischen Apparate auszumachen verdient, läfst sich leicht so einrichten, dafs man sie mit dem allgemeinen Apparate von Ampère verbindet, wobei das Gefäfs S die Stelle von e vertreten kann.

gegebenen Magnetismus der Spiralscheiben. Dafs es übrigens besser sey, statt der in Frankreich üblichen Glasröhren zur Befestigung der Drähte und Spiralen von feinem übersponnenen Drahte einen Federkiel nach Raschig zu wählen, bedarf kaum einer Erwähnung[1]. Endlich kann man auch statt der Spiralscheiben an den Enden schraubenförmige willkührlich weite Windungen über die ganze Länge des Rohres wählen, oder wie van der Heyden gethan hat, weite schraubenförmige Windungen um einen Cylinder bilden, diese mit einer Lage Seidenzeug überkleben, den Draht durch den innern Raum des Cylinders wieder zurückführen, noch eine Lage Windungen bilden, diese abermals mit Seidenzeug überkleben, und auf solche Weise fortfahren, einen Multiplicator aus einer beliebigen Menge über einander liegender schraubenförmiger Windungen zu bilden. Wird dann an das eine Ende des Drahtes eine Scheibe Zink, an das andere eine Scheibe Kupfer gelöthet, und der Apparat vermittelst Kork über einem flüssigen unvollkommenen Leiter der Elektricität schwimmend oder an einem Seidenfaden darüber schwebend erhalten, so dafs die beiden Metallscheiben in die Flüssigkeit eingetaucht sind, so hat man einen beträchtlich starken elektrischen Magnet.

Die bisher beschriebenen Erscheinungen lassen sich sehr einfach auf den Fundamentalversuch zurückführen. Hieraus folgt nämlich, dafs die Pole der Declinationsnadel von der einen Seite des elektromagnetischen Drahtes angezogen, von der andern abgestofsen werden. Die spiralförmig gewundene Scheibe zeigt aber deutlich, dafs an der einen Seite derselben blofs nordpolarer, an der andern blofs südpolarer Magnetismus wirksam ist, und insofern ein kreisförmig gebogener oder auch ein rectangulärer Draht als ein einzelnes Element einer solchen angesehen werden kann, so geht hieraus nothwendig hervor, dafs alle diese mit ihrer nordpolaren Seite sich nach Norden, mit ihrer südpolaren nach Süden richten, oder ihre Ebenen lothrecht auf die magnetische Mittagslinie gerichtet, zum Stillstande kommen müssen.

Inzwischen sind die sämmtlichen genannten Apparate von der Art, dafs sie zunächst nur die Erscheinungen nachbilden, welche die Declinationsnadel als Folge des tellurischen Magne-

---

1 Vergl. Demonferrand Handbuch der dyn. El. §. 46.

tismus zeigt, vermöge dessen sie sich mit ihrer Axe in den magnetischen Meridian stellt. Der tellurische Magnetismus ist aber von der Art, dafs wir in der Richtung der Inclinationsnadel unten einen Südpol, oben einen Nordpol anzunehmen haben. Indem wir aber auf unserer nördlichen Halbkugel den Einfluſs des letzteren vernachlässigen können, so müssen die elektromagnetischen Leitungsdrähte durch den Erdmagnetismus so afficirt werden, als würde ihnen von unten ein südpolarer Magnet genähert.

9. Man kann dieses durch einen um eine horizontale Axe frei schwebenden Draht leicht anschaulich machen. Ist nämlich der mit den Spitzen x, y' versehene Draht rechtwinklich so gebogen, dafs seine Seiten lothrecht herabhängen, das Stück a b aber horizontal schwebt, wenn die Spitzen in die gleichmäfsig bezeichneten Quecksilberschälchen des allgemeinen Apparates gesenkt sind, und besteht die eine Seite $\alpha\beta$ des Rectangels aus einem isolirenden Stäbchen, an welchem sich das Stück i befindet, dessen Gewicht das des Drahtes bis auf ein Minimum nach balancirt, so wird der letztere sich beim Durchströmen der galvanischen Elektricität durch den Einfluſs des Erdmagnetismus bewegen. Hierbei geht nämlich die Strömung in den beiden lothrechten Seiten αa und βb in entgegengesetzter Richtung, mithin heben sich ihre Wirkungen auf, und es bleibt also nur die der Seite a b übrig. Wie aber die Bewegung derselben seyn müsse, folgt von selbst, wenn man nur berücksichtigt, dafs der Nordpol *unter* dem Leitungsdrahte bei einer Strömung von Norden nach Süden östlich abweicht. Diesemnach ist die Ausweichung oder die dadurch bewirkte Erhebung des Drahtes über der nordpolaren Elektricität westlich, über der tellurischen aber östlich, bei einer Strömung von Süden nach Norden westlich, von Osten nach Westen südlich und von Westen nach Osten nördlich, oder, wie Demonferrand[1] sagt, sie ist allezeit links von der Richtung des elektrischen Stromes. Faraday[2] beobachtete diese Erscheinungen zuerst, sein Apparat war aber minder geeignet, die Sache auf eine leichte und sichere Weise anschaulich zu machen.

Fig. 107.

Es folgt hieraus von selbst, dafs die oben (III. C. 5.) be-

1 Handbuch der dynamischen Elektricität. §. 39.

2 G. LXXI. 171.

schriebenen Einwirkungen eines Magnetes auf einen in der verticalen Ebene beweglichen Leiter der galvanischen Elektricität durch den tellurischen Magnetismus nicht hervorgebracht werden können. In diesem Falle nämlich sind die obere und untere Fläche des beweglichen Leiters durch den Einfluſs des magnetischen Poles nicht beweglich, die beiden Seiten aber sind in ihrer Wirkung entgegengesetzt, und heben einander auf[1].

E. Wechselseitiger Einfluſs elektrischer Leiter auf einander.

Daſs die Leiter der Volta'schen Elektricität, insofern sie den Magnet afficiren und von diesem eben wie vom tellurischen Magnetismus afficirt werden, ja sogar eine gewisse Art von Magneten bilden, auch einen wechselseitigen Einfluſs auf einander ausüben müssen, lieſs sich allerdings wohl mit hoher Gewiſsheit aus theoretischen Gründen folgern; indeſs hat Ampère diesen Satz schon damals durch Versuche nachgewiesen, als die Lehre vom Elektromagnetismus noch in ihrer Kindheit war, und gerade diese Erscheinungen seitdem vorzugsweise verfolgt, weil er in ihnen eine Hauptstütze seiner Theorie zu finden glaubt. Indeſs lassen sich auch diese sehr einfach auf das ursprünglich von Oersted aufgefundene Hauptphänomen zurückbringen. Sind nämlich a und α die Durchschnitte zweier Leiter der galvanischen Elektricität, welche bei gleicher Richtung des galvanischen Stromes parallel über einander hinlaufen, so wird der Nordpol über α und unter a die bezeichnete Abweichung erhalten, sie selbst aber würden durch die Einwirkung des nämlichen Poles nach den Richtungen a b und $\alpha\beta$ getrieben werden, welche einander entgegengesetzt sind. Nimmt man also die magnetischen Pole zwischen ihnen weg, und läſst sie selbst auf einander einwirken, so müssen sie bei gleichlaufender elektrischer Strömung einander anziehen, welches auch dadurch klar wird, wenn man sich vorstellt, daſs die entgegengesetzten Pole zwischen ihnen nach der nämlichen Seite hin getrieben werden. Es wird aber der magnetische Pol durch den Elektromagnetismus

Fig. 108.

1 Die sonstigen Bewegungen der elektrischen Leiter, durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus veranlaſst, lassen sich bequemer mit den Erscheinungen verbinden, welche den Inhalt des nächstfolgenden Abschnittes ausmachen.

ganz um den Leitungsdraht der galvanischen Elektricität herumgeführt. Folgt man diesem, führt den Draht *a* in einem Kreise um den Draht a, zeichnet die Richtung der gleichnamigen Pole zwischen ihnen, und folgert hieraus diejenige Bewegung, welche beide Drähte bei gleichlaufender elektrischer Strömung in einander erzeugen müssen, so erhält man alle hierdurch hervorgebrachte Bewegungen, aus denen die den entgegengesetzten Strömungen zugehörigen leicht abstrahirt werden können. Ampère[1] hat diese gesammten Erscheinungen durch sinnreich construirte Apparate anschaulich gemacht, von denen die meisten eine Aufnahme in die physikalischen Sammlungen verdienen, und daher hier nicht übergangen werden dürfen.

1. Für verschiedene dieser Versuche setzt man den Rectangel MNOP auf den oben (III. C. 3.) beschriebenen Hauptapparat[2] so, dafs die vier Zapfen L, L, L, L, in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Löcher gesteckt werden, und die beiden Spitzen G, H sich in das Quecksilber der gleichmäfsig bezeichneten Vertiefungen senken. Wird dann der rechtwinklich gebogene Draht mit seinen herabgehenden Spitzen x, y, in die gleichbezeichneten Quecksilberschälchen gesenkt, ist R der Leiter des positiven Poles und sind die kleinen Brücken K, k nach der rechten Hand herabgesenkt, so geht der Strom der Elektricität von A nach C, von da nach C' und G, durchläuft den mit einem Multiplicator aus Streifen des dünnsten Kupferbleches versehenen Rectangel in der Richtung MN, kehrt in das Quecksilber der Vertiefung H zurück, wird durch DD'Bc zur Säule ET geleitet, gelangt in das Gefäfs X, von da nach x, von hier aus in den beweglichen Leiter, nimmt hierin die Richtung x a b c d e f g h i bis y, steigt durch die Säule UF herab, zeigt durch seinen Einflufs auf das Galvanometer t u v, dafs die galvanische Kette geschlossen sey, und gelangt endlich durch d' in die Rinne a zum andern Volta'schen Elektromotor. Hierbei hat der elektrische Strom in dem Drahtende d e die nämliche Richtung, als in MN, und beide werden sich daher anziehen. Will man Abstofsung derselben hervorbringen, so darf nur eine

Fig. 109.

Fig. 110.

1 Ann. Chim. Ph. XXVI. 396.

2 Die 83ste Figur, welche den allgemeinen Apparat beschreibt, mufs bei den meisten der folgenden Versuche ohne weitere Anzeige verglichen werden.

der Drahtbrücken K oder k nach der linken Seite hin niedergedrückt werden. Geschieht dieses bei beiden, so sind beide Strömungen, sowohl die in N M als auch in e d der vorigen entgegengesetzt, aber nach gleicher Richtung gehend, wodurch sich nachweisen läfst, dafs die Bewegung nicht durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus hervorgebracht wird. Dieses folgt indefs auch schon daraus, weil der bewegliche Draht astatisch ist, indem der elektrische Strom gleiche Theile desselben in entgegengesetzter Richtung durchströmt. Ist derselbe in den Bechern x, y aufgehangen, so fällt der Punct e lothrecht über N, und die Winkelkraft ist daher geringer, als wenn man ihn in die Schälchen x′, y′ hängt, in welchem Falle er mitten über M N herabhängt.

Fig. 111. 2. Hängt man einen Draht, welcher in der Richtung x a b c d e f g h i y gebogen ist, und in welchem also die elektrische Strömung in den Theilen c d und g h eine einander jederzeit entgegengesetzte Richtung hat, in den Schälchen x, y auf, so werden beide angezogen oder abgestofsen. Im Fall der Anziehung findet kein bleibendes Gleichgewicht statt, weil es kaum vermeidlich ist, dafs nicht einer dieser Drähte dem Rectangel etwas näher kommen sollte, wodurch dann Anziehung bewirkt wird. Verwandelt man aber vermittelst einer der Brücken K oder k die Anziehung in Abstofsung, so kommt der bewegliche Leiter rechtwinklich über N schwebend zum Stillstande. Hängt man ihn aber in die Schälchen y′, x′, in welchem Falle die Strömung von y aus rückwärts geht, folglich in dem unteren Theile von h nach g und von d nach c, so bleibt derselbe durch die einander entgegenwirkenden Anziehungen in Ruhe.

Fig. 112. 3. Eine Abänderung dieses Versuches giebt der bewegliche astatische Leiter, in welchem die elektrische Strömung in der Richtung x′ a b c d e f g h i y′ erfolgt. In den Schälchen x′, y′ aufgehangen wird er sich so lange drehen, bis d e parallel mit N M ist.

4. Ampère wollte auch die Frage beantworten, ob bei diesen Apparaten die lothrechten Drähte zur Hervorbringung der beschriebenen Bewegungen etwas beitrügen. Dafs dieses wirklich der Fall sey, zeigte ein beweglicher Leiter, in welchem der elektrische Strom von x′ durch a b, dann den Halbkreis b c, von hier durch den lothrechten Draht c d und den ganzen Kreis d e bis f geht, dann den andern Halbkreis f g in

Fig. 113.

entgegengesetzter Richtung durchläuft, von hier nach h gelangt, und nach durchlaufenem ganzen Kreise hi wieder nach y' gelangt. Wird dieser bewegliche Leiter in die Schälchen x' y' über dem festen Leiter schwebend aufgehangen, so können die Kreise keine Wirkung äufsern, aber dennoch stellen sich die lothrechten Enden mit einer geringen Kraft über den festen Leiter.

5. Auch lothrecht neben einander herabgehende Drähte ziehen sich bei gleicher Richtung des elektrischen Stromes an und stofsen sich bei entgegengesetzter ab. Um dieses zu zeigen, setzt AMPÈRE einen andern festen Leiter an die Stelle des bisherigen, dessen Zapfen L, L, L, L, gleichfalls in die gleichmäfsig bezeichneten Löcher des Hauptapparates passen, indem zugleich die Metallspitzen G, H sich in die mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen senken. Hiernach geht der elektrische Strom dann von H aus aufsteigend durch mn und kehrt durch op nach G zurück, oder in umgekehrter Richtung. Wird dann der bewegliche Draht in die Gefäfse x, y aufgehangen, wobei die Seite bc parallel neben nm herabhängt, so werden diese beiden Drähte bei gleicher Richtung der elektrischen Ströme einander anziehen, bei entgegengesetzter aber abstofsen. Diese Erscheinungen lassen sich auch an dem (oben III. C. 2) beschriebenen, durch v. ALTHAUS angegebenen Apparate nachweisen, wenn man neben der lothrechten Seite des beweglichen Leiters einen mit ihm parallelen Draht herauf führt, und durch diesen den elektrische Strom in gleicher oder entgegengesetzter Richtung leitet.

Fig. 114.

Fig. 111.

6. Krummgebogene Drähte sind in ihrem Verhalten den geraden gleich. Um dieses zu zeigen, stellt man den eben beschriebenen Apparat so, dafs die Metallspitzen G', H' in die Vertiefungen mit Quecksilber gesenkt werden. In diesem Falle steigt der galvanische Strom von H' aus durch ru aufwärts, am gebogenen Drahte tv herab, durch po wieder aufwärts und durch nm wieder herab, um durch G' weiter geleitet zu werden. Der bewegliche gewundene Draht wird dann in die Gefäfse x, y, so gehangen, dafs seine Seite bc zwischen den beiden Drähten nm und tv herabhängt, und weil derselbe für die Anziehungen nicht füglich in gleiche Entfernung von beiden gebracht werden kann, so wählt man für den beweglichen Leiter bc die entgegengesetzte Strömung, in welchem Falle er von

Fig. 114.

Fig. 111.

den beiden Drähten n m und t v gleichmäfsig abgestofsen wird, und in der Mitte zwischen ihnen zur Ruhe kommt.

7. So wie ein beweglicher elektrischer Leiter einen magnetischen Pol, und wiederum dieser jenen fortwährend umkreiset, so muſs dieses auch bei zwei elektromagnetischen Leitern der Fall seyn, wenn einer derselben eine hinlängliche Beweglichkeit hat. Es folgt dieses schon daraus, daſs in den Leitungsdrähten ein ganz eigentlicher Magnetismus erzeugt wird, auch läſst sich die Nothwendigkeit dieser Erscheinungen aus dem oben untersuchten Verhalten zweier Leitungsdrähte ableiten, woraus zugleich folgt, daſs bei gleicher Richtung der elektrischen Ströme der Draht *a* wie ein Nordpol, bei ungleicher Richtung derselben aber wie ein Südpol den Leiter a umkreisen muss.

Fig. 108.

Für alle diese verschiedenen Rotationsversuche hat Ampère mit seinem oft erwähnten allgemeinen Apparate eine besondere Vorrichtung verbunden. Diese besteht aus einem Dreifuſse, dessen Spitzen l, l, O in die gleichbezeichneten Löcher, die Drahtenden H, G aber in das Quecksilber der gleichbezeichneten Vertiefungen gesenkt werden. Auf diesen, gleichfalls mit einem Multiplicator umgebenen, Dreifuſs wird ein kupfernes Gefäſs so gestellt, daſs die Metallspitze I in die gleichbezeichnete Vertiefung des Dreifuſses kommt, von wo aus ein Kupferdraht nach O herabgeht. Dieses Gefäſs wird mit verdünnter Säure gefüllt, in welche die rotirenden Apparate gesenkt werden. Hängen dann in den Schälchen x, y; x', y' keine bewegliche Leiter, so geht der elektrische Strom nicht durch diese, sondern nachdem er den Multiplicator des Dreifuſses durchlaufen hat, welcher aus einem mehrmals umgewundenen schmalen Streifen des dünnsten Kupferbleches besteht, dessen Enden in G und H gesenkt sind, so gelangt er zur Rinne B, zur Vertiefung c', und unter der Voraussetzung, daſs die Brücke k nach der rechten Hand herabgedrückt ist, nach dem Schälchen S, welches durch die Oeffnung I' in dem kupfernen Gefäſse in die Höhe geschoben wird, durchläuft den darin aufgehangenen beweglichen Leiter, dringt durch die verdünnte Säure des Gefäſses und diese selbst, und gelangt durch die Rinne O o d' zum negativen Leiter. Will man statt des runden festen Leiters einen geraden anwenden, so wird hierzu der oben beschriebene Rectangel benutzt, indem man denselben umdrehet, die Zapfen L, L, L, L in die Löcher L', L', L', L' steckt, die Spitzen G, H aber in die

Fig. 115.

Fig. 116.

Fig. 109.

gleichbezeichneten Vertiefungen, wodurch der Multiplicator desselben eine Tangente an dem Umfang des beweglichen Leiters bildet.

Zu den Rotationsversuchen hat AMPÈRE ferner drei Apparate eingerichtet, welche sämmtlich aus einem dünnen Streifen Kupferblech an Drähten hängend bestehen, und wobei der erstere in die verdünnte Säure gesenkt wird, während das Gewicht des Ganzen auf einer feinen Spitze ruhet. Der eine dieser Apparate hat längere lothrechte Drähte a b und c g, und bei dem Gebrauche desselben mufs daher die Stange mit dem Quecksilbergefäfse S höher heraufgerückt werden, welches wegen der Feder l l′ leicht zu bewerkstelligen ist. Ein kleiner Streifen Holz g d unterbricht den elektrischen Strom, welcher also von s ausgehend durch b a dem kupfernen Ringe zugeführt wird. Der zweite bewegliche Leiter hat die lothrechten Drähte nicht, sondern nur einen horizontalen Träger, und da auch dieser durch ein hölzernes Stäbchen g d unterbrochen ist, so gelangt der elektrische Strom von s aus durch a zum metallenen Ringe. Der dritte ist diesem übrigens vollkommen gleich, jedoch hat er bei t ein kleines Stückchen Elfenbein, welches die elektrische Strömung unterbricht, und wobei es einen Unterschied in den Resultaten macht, ob dieses zwischen a und f oder zwischen a und e eingesetzt ist. Zur Erzeugung einer klareren Uebersicht mögen die Erscheinungen, welche ein jeder dieser beweglichen Leiter darbietet, einzeln betrachtet werden.

Fig. 117. Fig. 118. Fig. 119.

a. Wird der erste bewegliche Leiter der Einwirkung des runden Multiplicators ausgesetzt, so drehet er sich anfangs mit beschleunigter, bald aber mit gleichbleibender Geschwindigkeit um die Spitze s. Läfst man dagegen den geradlinigen Multiplicator darauf wirken, so kommt er in eine feste Lage, indem die Ebene des Rectangels a b c d der Ebene des geradlinigen Multiplicators parallel wird, und zwar so, dafs die Seite a b dem elektrischen Strome in M N *entgegen* gerichtet ist, wenn seine Richtung in b a *herabwärts* geht, und *mit* demselben, wenn sie in a b *aufwärts* steigt, beides in Folge der Abstofsung ungleichgerichteter Strömungen. Wirkt auf diesen beweglichen Leiter blofs der tellurische Magnetismus, so stellt sich seine Ebene senkrecht auf den magnetischen Meridian, und zwar a b im *Westen* stehend, wenn die elektrische Strömung *aufsteigend* ist, im *Osten* aber, wenn sie *herabwärts* geht.

Dieser Apparat kann auch dazu benutzt werden, die durch Faraday zuerst aufgefundene, oben (III. C. 6) beschriebene Umkreisung des beweglichen Leiters um einen gemeinen Magnetpol zu zeigen. In diesem Falle ist es besser, das hölzerne Stäbchen g d wegzulassen, damit der elektrische Strom von s aus durch beide herabgehende Drähte b a und c d zum unteren Ringe und dem flüssigen Halbleiter gelange, weil beide dann gegen einen in gleicher Entfernung zwischen ihnen befindlichen Magnet ein gleiches Verhältniſs erhalten. Es wird dann durch Herausheben der Metallstreifen H, G aus den Quecksilberschalen die Einwirkung des runden Multiplicators aufgehoben, statt dessen aber wird der Nordpol eines Magnetes neben den Träger des Schälchens S, oder es werden mehrere gleichnamige Pole stählerner Magnete um denselben herumliegend in lothrechter oder geneigter Richtung, selbst horizontal, gehalten. Die Richtung, in welcher die Drehung erfolgt, läſst sich aus Oersted's Hauptversuche leicht bestimmen. Ist nämlich der zwischengehaltene Pol ein Nordpol, und geht die Strömung in den Drähten von unten aufwärts nach s, so erfolgt die Drehung von Osten durch Norden nach Westen und Süden.

b. Der zweite bewegliche Apparat, bei welchem die Wirkung der verticalen Arme wegfällt, erhält durch die Einwirkung des runden Multiplicators gleichfalls eine fortdauernde Kreisbewegung. Ist hierbei die Richtung des Stromes im Multiplicator von α durch β, γ, δ, und im beweglichen vom Mittelpuncte s nach dem Umfange a; so erfolgt die Drehung nach δ, γ, β, α, und bleibt die nämliche, wenn die Strömung in beiden Leitern die entgegengesetzte Richtung erhält. Soll die umgekehrte erfolgen, so muſs die Strömung in nur einem von beiden Leitern umgeändert werden. Auch dieses mehr verwickelte Phänomen läſst sich sehr einfach auf das angenommene Hauptgesetz zurückbringen, wenn man mit Ampère annimmt, daſs die Wirkung durch den gemeinschaftlichen Einfluſs des in den Leitern hervorgerufenen Magnetismus erzeugt wird. Ist also die Richtung des Stromes im festen Leiter nach $\alpha\beta\gamma\delta$, im beweglichen aber von s nach a, so heben sich zwar die Anziehungen und Abstoſsungen zweier gleichweit von Q im festen Leiter liegenden Puncte auf; allein indem beide Leiter hierdurch in gegenseitige Ruhe gesetzt werden, so muſs eine Bewegung in derjenigen Richtung erfolgen, in welcher sie sich abstoſsen, welche im beweglichen Leiter in

der Richtung $\delta\gamma\beta\alpha$ langsam anfangend, durch die aus der Bewegung selbst hervorgehenden entgegengesetzten Strömungen und die hieraus folgende Abstofsung verstärkt, zuletzt mit dem zu überwindenden Widerstande gleich wird. Aus diesem einen Schema folgen die übrigen von selbst, auch wird hieraus noch leichter erklärlich, dafs dieser bewegliche Leiter durch die Einwirkung des rechtwinklichen Multiplicators in eine stete Kreisbewegung versetzt wird, welche ungleich seyend das Maximum ihrer Geschwindigkeit erreicht, wenn der Punct a dem Multiplicator N M am nächsten ist, und das Minimum, wenn er am weitesten davon absteht. Nehmen wir auch hier die Strömungen nördlich von N nach M und von s nach a, setzen den letzteren Punct in den gröfsten Abstand von N M in Westen, so wird die Anziehung den Punct a durch Süden nach Osten führen, wo die Geschwindigkeit ihr Maximum erreicht, dann wird Abstofsung erfolgen, welche den Punct a durch Norden mit abnehmender Geschwindigkeit nach Westen auf den Anfangspunct der Bewegung zurückführt.

Nach Ampère und Demonferrand[1] wird dieser Apparat durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus gleichfalls in Bewegung gesetzt. Hebt man nämlich die Verbindung des elektrischen Stromes mit dem Multiplicator des Dreifufses dadurch auf, dafs man die Enden der Metallstreifen H und G aus dem Quecksilber hebt, so dafs also die Strömung von s nach a, dann durch den Ring und das gesäuerte Wasser durch I nach O gelangt, so drehet sich der Apparat von West nach Ost durch Süd; hat derselbe aber die Richtung von a nach s, also vom Umkreise nach dem Mittelpuncte, so ist seine Drehung umgekehrt von Ost nach West durch Süd. Es scheint mir indefs diese Bewegung nicht durch den tellurischen Magnetismus, sondern entweder durch den Einflufs des lothrechten Leiters IO auf den kupfernen Ring und den Draht sa, oder, was ungleich wahrscheinlicher und fast gewifs ist, durch die Wirkung des letzteren und des kupfernen Ringes auf das gesäuerte Wasser erzeugt zu werden. Die unzweideutigsten Versuche nämlich zeigen, dafs das Verhalten eines horizontalen und lothrechten, eines geraden und gebogenen elektrischen Leiters ganz gleich ist. So wie also (nach D. 1 bis 7) alle kreisförmig und recht-

1 Handb. d. dyn. El. S. 85.

winklich gebogenen Drähte, auch beim Ermanschen Rotationsapparate, an welchem die lothrechten Theile gegen die horizontalen verhältnifsmäfsig nur kurz sind, keine rotatorische Bewegung annehmen, sondern sich normal auf den magnetischen Meridian gerichtet einstellen, so mufs dieses auch bei einem einzelnen horizontalen Drahte, ohne den Einflufs der angegebenen Wechselwirkung, statt finden. Dafs aber ein solcher Einflufs wirklich vorhanden sey, ergiebt sich aus dem Verhalten des folgenden Apparates.

c. Der dritte Apparat ist in seinem Verhalten dem zweiten gleich, wenn er dem Einflusse des runden und des geraden Multiplicators ausgesetzt ist. Wird dieser aber aufgehoben, dann ist seine Bewegung stets nur nach einer Seite gerichtet, die Strömung gehe von s nach a oder umgekehrt, weil dieselbe nach Ampère [1] selbst aus dem Einflusse der Strömungen in dem kupfernen Ringe und dem gesäuerten Wasser auf einander entsteht.

8. Dafs ein kreisrunder elektrischer Strom auf einen in seinem Centro befindlichen beweglichen Leiter keinen Einflufs habe, wenigstens ihn nicht in eine fortdauernde Rotation versetze, zeigt Ampère, indem er aus dem beschriebenen Dreifufse das Gefäfs mit dem flüssigen Halbleiter herausnimmt, und einen der beweglichen Drähte in die Gefäfschen x′, y′ aufhängt, welche sich dann gerade über dem Centro des Dreifufses befinden. Ist dieses Letztere genau der Fall, so wird der elektrische Strom, welcher den kreisförmigen Multiplicator durchläuft, auf den aufgehangenen beweglichen Draht keinen Einflufs äufsern, welcher denselben in ein stetes Umkreisen versetzen könnte.

9. Ein interessanter, für verschiedene Zwecke anwendbarer, Apparat Ampères besteht aus zwei künstlichen Magneten von schraubenförmig gewundenem Drahte. Der eine, ein Cylinder aus übersponnenem und schraubenförmig gewundenem Drahte, dessen beide herabhängende Enden mit ihren Spitzen in das Quecksilber der Vertiefungen G, H getaucht, und hierin durch den Pflock b festgehalten werden, kommt hierdurch in den Kreis der elektrischen Strömung, und wird mit der Hand in den verschiedensten Lagen und Richtungen dem anderen genähert. Dieser andere, auf gleiche Weise verfertigt, wird mit

Fig. 120.

Fig. 121.

1 Ann. C. P. XXVI. 411.

seinen Drahtenden in die Quecksilberschälchen x, y gehangen, und ist sonach als ein beweglicher Magnet anzusehen, welcher für sich dem Einflusse des tellurischen Magnetismus folgt, oder durch den andern ihm genäherten, eben wie durch einen gewöhnlichen Magnet, polarisch angezogen oder abgestofsen wird.

10. Mit diesem Apparate läfst sich dann auch zeigen, dafs ein solcher elektromagnetischer Magnet sich zum elektrischen Verbindungsdrahte wieder als eine gemeine Magnetnadel verhält. Bringt man zu diesem Ende den rectangulären Multiplicator unter den freischwebenden, aus Draht geflochtenen, und stellt den allgemeinen Apparat so, dafs die Ebene des geraden Multiplicators und die Axe des beweglichen Leiters sich im magnetischen Meridian befinden, so wird letzterer sich über ersterem gerade wie eine gemeine Magnetnadel verhalten. Diesen interessanten Versuch kann man noch besser auf folgende Weise anstellen. Man umwickelt eine dünngeschabte Federspule mit übersponnenem feinen Drahte, in nahen Windungen, überzieht den entstandenen Cylinder mit Bernsteinfirnifs, führt den Draht durch die Federspule rückwärts, umwickelt abermals in der nämlichen Richtung, und fährt hiermit so lange fort, als man für schicklich erachtet, führt die Drahtenden wieder nach der Mitte in gerader Linie zusammen, bindet sie mit einem Seidenfaden so fest, dafs die Endspitzen herabhängen, löthet an diese eine Platte Zink und Kupfer, stützt den umwundenen Federkiel auf einen Metalldraht, welcher nach einer Seite in einen Halbkreis von einigen Linien Durchmesser ausgebogen ist, und macht den ganzen Apparat auf einem cylinderförmigen Stücke Kork auf einer geeigneten Flüssigkeit so schwimmen, dafs die beiden Metallplatten in dieselbe eingetaucht sind. Sollen die Versuche vollständig gelingen, so müssen die Metallplatten in dem etwas ausgehöhlten und gehörig geformten Korkstücke so hoch gesteckt werden, dafs die Enden der umwundenen Federspule sich durch die Einwirkung des galvanischen Verbindungsdrahtes auf- und abwärts bewegen. Durch etwas Fett wird dann das Anhängen des Korkes an die Glaswände des Gefäfses aufgehoben, und es kann ein gewöhnlicher Verbindungsdraht der Elektromotoren sowohl über, als auch vermittelst der halbkreisförmigen gebogenen Stütze des umwundenen Federkieles unter diesem, und an beiden Seiten parallel mit demselben gehalten werden, um alle Bewegungen einer wirklichen Nadel zu erhal-

ten. Ein solcher Apparat ist eine Verbindung der von DE LA RIVE und RASCHIG angegebenen, welche oben schon erwähnt sind[1].

Es ist nicht überflüssig, hier eine Vorsichtsmafsregel AMPÈRE's mitzutheilen, welche bei allen den genannten Apparaten der sehr feinen Spitzen wegen sorgfältig beobachtet werden mufs. Beim Einhängen der beweglichen Leiter in die Quecksilberschälchen mufs man nämlich die Schliefsung des galvanischen Kreises vorher durch die horizontale Stellung der Brücken K und k aufheben, damit nicht im Augenblicke der Berührung die feinen Spitzen der beweglichen Apparate verbrennen.

F. Wirkung eines galvanischen Leiters auf indifferente Drähte.

AMPÈRE hat bei seinem rastlosen Verfolgen aller elektromagnetischen Erscheinungen seine Versuche auch darauf ausgedehnt, um zu finden, ob ein mit einem elektrischen Leiter parallel laufender Kupferdraht im Wirkungskreise von jenem elektrisch, und hierdurch dann magnetisch würde. Zu diesem Ende hing er einen kreisförmig gebogenen Kupferdraht an einem ungezwirnten Seidenfaden mit lothrechter Ebene so auf, dafs derselbe von einem gleichfalls lothrecht gehaltenen Multiplicator umgeben war, und näherte ihm dann einen Magnet. Anfangs konnte er keinen Einflufs beider auf einander wahrnehmen, und hielt daher die Einwirkung eines galvanischen Leiters auf einen mit ihm parallelen, nicht im Kreise der Elektricität befindlichen

1 Ueber solche künstliche Magnete vergl. FARADAY bei G. LXXI. 164. Die Bemühungen dieses eifrigen Physikers, das Umkreisen elektromagnetischer Apparate durch tellurischen Magnetismus zu bewirken s. ebend. LXXII. 118. Ein erst vor Kurzem von AMPÈRE angegebener Apparat, welcher die gegenseitige Anziehung elektromagnetischer Leiter zeigt, ist weitläuftig zu beschreiben, und scheint mir daher nicht wichtig genug, um hier eine Aufnahme zu finden. S. Ann. Ch. Ph. XXIX. 217. Einen interessanten Apparat hat ferner BARLOW construirt, eine Art von *Terrelle*, indem er eine Kugel nach der Richtung der magnetischen Meridiane und Parallele mit Draht überzog, und diese in den Strom der Volta'schen Elektricität brachte, wodurch dann eine darüber schwebende Magnetnadel sich ähnlich wie über der wirklichen Erde verhielt. S. Edinb. J. of Science N. 1. S. 139. Die Sache ist sinnreich, bleibt aber immer nur eine angenehme Spielerei.

Metalldraht für unmöglich. Als er aber einen stärkeren Elektromotor und einen kräftigern Magnet anwandte, zeigte sich's, daſs *ein elektrischer Strom in leitenden Körpern, neben denen er vorbeigeht, den nämlichen Magnetismus hervorruft, welcher in ihm selbst erzeugt ist* [1].

Es ist sehr wahrscheinlich, daſs bei diesem Versuche eine Täuschung statt gefunden hat. Ich selbst habe die Erscheinung bei der Anwendung des oben (II. A. 6.) beschriebenen starken Apparates nicht wahrnehmen können, und sie ist auch sonst von niemanden beobachtet, steht auſserdem durchaus im Widerspruche mit allen bisher bekannten Thatsachen, und man muſs sich daher wundern, daſs Ampère das eigentliche Wesen, hauptsächlich aber vorläufig die Gewiſsheit derselben nicht weiter geprüft hat, welches bloſs daraus erklärt werden kann, daſs dieser emsige Forscher den elektrischen Strom, als solchen, als das eigentliche wirkende Agens anzusehen pflegt. Die Elektricität eines Leiters aber, welcher zwei Volta'sche Elektromotoren verbindet, kann auf einen frei schwebenden, mit ihm parallelen Draht keinen *elektrischen* Einfluſs haben, da er das feinste Blattgoldelektrometer nicht afficirt. Daſs aber der in ihm erregte *Magnetismus* in einem Kupferdrahte Magnetismus hervorrufen sollte, ist den ausgebreitetsten und zahlreichsten bisherigen Beobachtungen entgegen. Darf man indeſs die Beobachtung als richtig ansehen, so ist es möglich, daſs der von Ampère gebrauchte Kupferdraht ähnliche Erscheinungen gezeigt hat, als von mir bei der Prüfung dieser Angabe an einem etwas eisenhaltigen Messingdrahte beobachtet sind [2]. Dabei ist es sehr auffallend, daſs Ampère anfangs etwas für unmöglich erklärte, was in einem nachfolgenden Versuche als wirklich zum Vorschein gekommen seyn soll, und auf allen Fall eine weitere Prüfung an verschiedenen Drähten erfordert hätte. Jene von mir aufgefundene Erscheinung ist indeſs, mindestens höchst wahrscheinlich, durchaus nicht elektromagnetisch, gehört also nicht hierher, sondern in das Gebiet des *Magnetismus.*

Becquerel [3] will ferner gefunden haben, daſs ein elektrischer Strom aus einer starken Batterie, nach Wollaston's Art,

1 Demonferrand a. a. O. S. 184.

2 Poggendorf Ann. d. Ph. VI. 361.

3 Ann. Ch. Ph. XXV. 269.

durch einen Schweiggerschen Multiplicator geleitet, kleinen Nadeln von den verschiedensten Substanzen eine bestimmte Richtung ertheile, daſs aber ein genäherter Magnet auf dieselben in dieser Richtung anscheinend nicht wirke. Diese Thatsache, welche in der gegebenen Darstellung weder zu den bisher bekannten elektromagnetischen, noch auch den magnetischen Erscheinungen paſst, verdient vor der Beurtheilung erst genauer begründet zu werden.

IV. Theorieen des Elektromagnetismus.

In den frühern Abschnitten sind die sämmtlichen elektromagnetischen Erscheinungen, ohne Auslassung irgend einer mir bekannt gewordenen und für die Erklärung bedeutenden, mitgetheilt. Soll auf diese eine Theorie gegründet werden, so kann dieselbe auf eine dreifache Weise gebildet seyn, entweder indem man die gesammten Erscheinungen auf ein gemeinsames, aus ihnen selbst entnommenes, Gesetz zurückführt, oder wenn man hiermit nicht zufrieden, dieses Gesetz selbst wieder auf andere Naturgesetze gründet, wonach ähnliche und verwandte Phänomene erfolgen, so daſs also das neu aufgefundene Gesetz mit schon bekannten zusammenfällt, oder endlich wenn man das eigentliche Wesen der wirksamen Potenz und der ihr eigenthümlich zukommenden Kräfte nebst ihrem gegenseitigen Verhältnisse zu ergründen sucht. In Beziehung auf diese letztere Aufgabe müssen wir uns bescheiden, daſs wir bis jetzt weder irgend einen materiellen Stoff noch eine Kraft an sich und ihrem eigentlichen Wesen nach kennen, wenn anders dieses Wesen nicht in den uns bekannten Eigenschaften und Wirkungsarten derselben gegeben ist; wir dürfen daher nicht erwarten, das eigentliche Wesen des Elektromagnetismus anders zu erkennen, als in sofern wir das oder die allgemeinen Gesetze seiner Wirksamkeit ergründen. Sollen aber, nach der ersteren Bestimmung, alle Phänomene bloſs auf eine gemeinsame Regel, eine allen zum Grunde liegende Norm zurückgebracht werden, ohne daſs man das eigentliche Wesen derselben zu bestimmen sich vornimmt, so ist dieses durch alle diejenigen geschehen, welche eine Theorie derselben aufzustellen versucht haben, und dieses ist bei der Einfachheit der Sache durchaus nicht schwierig. Obgleich hierbei von den verschiedenen Physikern verschiedene Ausdrücke gewählt sind, so kommen doch alle Darstellungen auf das Nämliche zurück, und der Vorzug der einen

vor der andern kann blofs in der Leichtigkeit der Uebersicht des Ganzen liegen. So ist AMPÈRE's Ausdruck einer Entstehung des Nordpoles durch eine von Osten kommende elektrische Strömung, mit dem durch GILBERT gewählten einer links gerichteten Abweichung des Nordpols unter dem durchströmten Leitungsdrahte dem Wesen nach identisch, und eben dieses liefse sich von den übrigen Vorstellungsarten nachweisen. Die von mir gewählte Darstellung der Thatsachen schien mir deswegen die beste, weil sie durchaus keine Theorie einmischt, sondern die Phänomene allein in ihrer ganzen Einfachheit wiedergiebt, und aufserdem von dem Verhalten des magnetischen Poles nicht etwa *über* oder *unter* dem Leitungsdrahte, sondern in seinem ganzen Umfange entlehnt ist. Inzwischen ist hierdurch schlechthin keine Theorie, sondern blofs eine nackte Darstellung der elektromagnetischen Erscheinungen gegeben, und wenn jene verlangt wird, so müssen bei der Unmöglichkeit, das eigentliche Wesen des Elektromagnetismus zu ergründen, zum mindesten seine Erscheinungen mit andern Naturphänomenen in Zusammenhang gebracht werden, welches dann der oben angegebenen zweiten Forderung an eine Theorie genügen würde. Die hiermit zusammenhängenden Naturerscheinungen aber, welche ihrem eigentlichen Wesen nach zwar unbekannt sind, rücksichtlich der Gesetze ihres Verhaltens aber zu den unlängst bekannten gezählt werden, sind die *elektrischen* und *magnetischen*, welche durch die wichtige Entdeckung des *Elektromagnetismus* in eine innige Verbindung treten, und namentlich steht jetzt der Magnetismus mit seinen früher allein bekannten höchst einfachen Erscheinungen und wenigen Gesetzen nicht mehr fast ganz aufser aller Verbindung mit den übrigen Naturkräften und Phänomenen. Diejenigen Forderungen, welche sonach billigerweise an eine Theorie des Elektromagnetismus gemacht werden können, betreffen hauptsächlich die Beantwortung der Fragen, in welchem Verhältnifs derselbe zu jenen beiden stehe, und ob seine Erscheinungen mehr der Elektricität oder dem Magnetismus angehören oder zwischen beiden in der Mitte liegen, und ein gewisses eigenthümliches, für sich bestehendes Ganzes bilden.

Von der Entdeckung des Elektromagnetismus an bis auf diesen Augenblick sind alle Physiker darüber mit einander einverstanden gewesen, die elektromagnetischen Erscheinungen

seyen schlechthin als magnetische anzusehen, jedoch von einer eigenthümlichen Modification, deren Bestimmung eben die Schwierigkeit der Sache und das Abweichende in den verschiedenen Ansichten und Bestimmungen ausmacht, welche deswegen eine nähere Prüfung verdienen. Rücksichtlich auf das Verhältniſs zur Elektricität sind die Meinungen getheilt und einander entgegengesetzt. Einige Physiker nämlich nehmen an, oder vielmehr es scheint aus ihrer Darstellung die Meinung zu folgen, *Elektricität und Magnetismus seyen einander gleich*, es gehe die eine in den andern über; andere dagegen halten *beide für verschiedene Potenzen*, legen einer jeden derselben ein eigenthümliches Substrat unter, sofern sie sich nicht zu der Ansicht bekennen, daſs eine Kraft ohne ein materielles Substrat für sich allein wirksam seyn könne, und sie müssen sonach annehmen, der Magnetismus werde im elektrischen Leitungsdrahte auf eine gewisse individuelle, hierdurch erst erkannte, Weise hervorgerufen oder freigemacht, welche dann den anderweitigen Erregungen des Magnetismus entweder ähnlich oder von diesen verschieden seyn kann.

Prüfen wir zuerst jene Ansicht, wonach *Elektricität* und *Magnetismus gleich seyn sollen*, so zeigt sich bald, daſs diese bei weitem die dunkelste sey, selbst schon hinsichtlich des bloſsen Ausdrucks einer Identität oder wesentlichen Gleichartigkeit. Daſs diese letztere im strengsten Sinne zwischen zwei so wesentlich verschiedenen Potenzen angenommen werde, deren Gesammterscheinungen bei der Anwendung von nur wenigem Scharfsinne auch durch die kühnste Phantasie nicht vereinigt werden können, läſst sich kaum denken. Ohnehin hat die Geschichte der Naturwissenschaften genügend bewiesen, wie weit man vom eigentlichen Ziele entfernt war, als man alle Stoffe auf wenige Grundstoffe zurückbrachte, in allen Erscheinungen der Imponderabilien aber einen Universaläther oder eine Universalkraft zu finden glaubte. Selbst das Phlogiston, welches mehr durch speculirende Phantasie als durch kritische Prüfung genauer Beobachtungen eingebürgert war, diente nur dazu, die Erscheinungen in ein undurchdringliches Dunkel zu hüllen, und das eigentliche Licht ging der Wissenschaft erst dadurch auf, daſs Lavoisier das durch unterscheidende Merkmale Verschiedene sonderte, und einem jeden eigenthümlichen Stoffe seinen besonderen Platz anwies. Daſs aber Elektricität

und Magnetismus als wesentlich verschiedene Potenzen, und selbst in den elektromagnetischen Erscheinungen durch unterscheidende Merkmale gesondert hervortreten, ist keinen Augenblick zweifelhaft. Um nur einige der wesentlichsten dieser unterscheidenden Kennzeichen namhaft zu machen, so wird die Elektricität im Leitungsdrahte durch die gewöhnlichen Nichtleiter isolirt, während der zugleich hervorgerufene Magnetismus dieselben frei durchdringt, ein Argument, welches Davy[1] allein schon für genügend hält, um die Meinung einer Gleichheit beider für unstatthaft zu erklären. Umgekehrt zeigen auch die stärksten Magnete keine einzige elektrische Wirkung, indem sie weder allgemein leichte Körper anziehen und abstoſsen, noch auch durch ihren Magnetismus chemische Veränderungen hervorbringen, ja sie verhalten sich sogar im Kreise der Volta'schen Säule als bloſse metallische Leiter (II. 3. d.) und äuſsern in dem Falle, wenn man ihre Pole auch bei gröſster Kraft derselben mit den Enden eines kräftigen Multiplicators verbindet, auf die empfindlichste Nadel durch dieses unglaubliche Verstärkungsmittel nicht den mindesten Einfluſs. Endlich hat unter andern C. H. Pfaff nachgewiesen (III. A. 13), daſs in einem von einfacher Reibungselektricität durchströmten Drahte eine noch sichtbare Funken zeigende Menge von Elektricität bleibend vorhanden ist, ohne daſs derselbe auch nur die mindesten Spuren einer magnetischen Wirkung auf die empfindlichsten Nadeln hervorzubringen vermag. Man müſste in einem solchen Leiter also freie Elektricität = Magnetismus als vorhandenseyend und doch nicht wirksam annehmen, welches ein Widerspruch ist, oder nachweisen, warum diese Art der Elektricitität kein Magnetismus sey, wodurch aber der aufgestellte Satz wieder aufgehoben wird. Sucht man indeſs den Beweis für ihre Identität hauptsächlich darin, daſs die Elektricität den Magnetismus in dem leitenden Körper hervorruft, so ist es noch fraglich, ob dieses nicht durch einen mechanischen Schlag mit einem hölzernen Hammer während der Dauer desselben in einem geringen Grade gleichfalls geschieht, und da dieser im Stahl bleibenden Magnetismus erregt, so könnte man hiernach auf gleiche Weise entweder den Hammer selbst oder den Schlag mit demselben für identisch mit Elektricität und Magnetismus ansehen.

---

1 Phil. Tr. 1821. I. S. 7. Vergl. G. LXIX. 77. LXXI. 240.

Wenn nun aber bei so auffallenden Verschiedenheiten in ihren Wirkungen Elektricität und Magnetismus von den scharfsinnigsten Gelehrten für wesentlich identisch angesehen werden, namentlich von dem berühmten Entdecker des Elektromagnetismus, Oersted, und dem um die vollständige Bearbeitung dieses Gegenstandes so verdienten Ampère, denen noch v. Yelin, Prechtl und andere zugezählt werden können, so dringt sich nothwendig die Frage auf, wie diese von ihnen behauptete Identität zu verstehen und mit den augenfälligst widersprechenden Erscheinungen zu vereinigen sey. Indeſs ist eine genügende Antwort hierauf wegen der Dunkelheiten in den gewählten Ausdrücken nichts weniger als leicht. Im Allgemeinen läſst sich inzwischen so viel als gewiſs erkennen, daſs bei der behaupteten Gleichheit von dieser nicht in so fern die Rede sey, als ob beiden in den individuellen Arten ihrer Wirksamkeit ganz gleiche Thätigkeitsäuſserungen zugeschrieben würden, welches auch in der That unmöglich wäre, sondern es soll nur beiden ein und dasselbe Princip zum Grunde liegen. Leider aber kennen wir im ganzen Gebiete der Natur weder irgend einen wägbaren Stoff, noch auch eine einzige sogenannte unwägbare Potenz ihrem eigentlichen Wesen nach in ihrem ganzen Umfange, viel weniger aber irgend eine der wirksamen Kräfte, und man kann also schon im Voraus wissen, was von einer solchen Bestimmung über die Grundkräfte zu halten sey, welche noch dazu auf eine in den Erscheinungen selbst die auffallendsten Widersprüche findende Gleichheit derselben führt. Ein weit sicherer Weg der Forschung war vielmehr der, von den Phänomenen auf die nächste Ursache derselben zu schlieſsen, und auf diese Weise müssen Elektricität und Magnetismus für verschiedene Potenzen gehalten werden.

Die Vorstellungen derjenigen, welche sich zu der genannten Identität bekennen, sind übrigens nicht gleich. Nach Oersted, von Yelin u. a. sind die Aeuſserungen beider zwar verschieden, allein sie zeigen so viel Uebereinstimmendes, und sind in ihrer ursprünglichen Entwickelung so innig mit einander verbunden, daſs sie sich auf eine und dieselbe Grundkraft zurückbringen lassen, welche sich in ihnen nur verschieden modificirt zeigt. Dieser Vorstellung kann man nicht anders beitreten, als wenn man dem ganzen, hierbei zum Grunde liegenden Systeme huldigt, wonach alles Materielle zuletzt auf eine

oder wenige Grundkräfte zurückgebracht wird, eine Theorie, welche die Wissenschaft nicht gefördert hat und nicht fördern kann[1]. Die Ansichten Ampère's und seiner Anhänger sind hiervon verschieden. Ohne die ganze Natur auf entgegengesetzte Urkräfte zurückzuführen, welches mindestens aus seiner Darstellung des Elektromagnetismus nicht folgt, drückt er bloſs das Verhalten des Leiters der Elektricität rücksichtlich auf den in ihm hervorgerufenen Magnetismus aus, und behauptet dabei nicht, letzterer werde durch die erstere hervorgerufen, noch auch werde jene in diesen ganz eigentlich umgewandelt, vielmehr liefere die Elektricität oder die elektrische Strömung den Magnetismus unmittelbar, sie sey selbst Magnetismus. Hiernach soll auch der tellurische Magnetismus aus denjenigen elektrischen Strömungen bestehen, welche durch die Sonne aufgeregt stets von Osten nach Westen die Erde umkreisen. Ampère hat sich offenbar durch seinen Eifer, die höchst interessante neue Entdeckung vollständig zu erklären, verleiten lassen zu übersehen, daſs in seiner Darstellung der Sache derjenige Fehler obwaltet, welchen man einen Kreis im Beweise nennt. Weil nämlich der elektrische Strom den Leiter magnetisch polarisch macht, so schlieſst er, auch der gemeine Magnet müsse durch solche Strömungen polarisch seyn, und weil der Magnet Pole zeigt, so müssen solche elektrische Strömungen existiren, welche als solche, wiederum dem Stahle die ihm eigenthümlichen Pole geben. Wollte Ampère bloſs aus Erfahrungen unmittelbar seine Theorie ableiten, so wäre es besser gewesen, diese vorausgesetzten Strömungen künstlich nachzubilden. Ein frei schwebender Stahlstab einem auf seine Axe normal gerichteten, über seine ganze Länge ausgedehnten elektrischen Strome aus Spitzen ausgesetzt, wird nicht magnetisch, und doch müssen diese Strömungen stärker seyn als die tellurischen, weil man jene wahrnimmt, diese aber auch nicht mit den feinsten Instrumenten. Man könnte hiergegen einwenden, daſs zwischen solchen elektrischen Strömungen und denen über den ganzen Erdball stattfindenden, welche diesem den tellurischen Magnetismus ertheilen sollen, ein groſser Unterschied statt finde. Allein hierauf ist zu erwiedern, daſs wir die Wechsel und Schwankungen der atmosphärischen Elektricität, welche doch ohne Zweifel mit der

---

1 Vergl. *Materie*.

tellurischen in engster Wechselwirkung stehen, sehr genau kennen, daſs diese indeſs weder von einer polarischen noch aequatorischen Strömung irgend eine Spur zeigen, und wollte man also eine solche, auf keine directe Beobachtung, sondern bloſs auf eine erst zu beweisende Wirkung gegründete, Ursache des tellurischen Magnetismus dennoch einer Theorie als erwiesene Thatsache zum Grunde legen, so gliche dieses den bekannten Erklärungen älterer Physiker aus dem Elementarfeuer, welchem alle Eigenschaften des gewöhnlichen Feuers beigelegt wurden, mit Ausnahme des Erwärmens und Brennens, wodurch wir indeſs allein den Begriff des Feuers erhalten haben[1].

Prechtl's Vorstellung von der Identität der Elektricität und des Magnetismus liegt zwischen den beiden eben erwähnten etwa in der Mitte, kann aber hier nur in ihren allgemeinsten Principien kurz angedeutet werden. Schon vor der Entdeckung des Elektromagnetismus glaubte Prechtl die wichtigsten Naturerscheinungen auf einen attractiven und einen chemischen Effect der Elektricität zurückbringen zu können, welche sich in ihrer Allgemeinheit als Magnetismus und Chemismus zeigen sollen. Für diese Ansicht schien ihm eine unerwartete Bestätigung durch Oersted's Entdeckung gegeben zu seyn. Die Volta'sche Säule nämlich soll eben diese zwei Effecte zeigen, den attractiven als groſsplattige und den chemischen als vielelementige, und beide Kräfte sollen sich einander aufheben. — So wie aber jener erste Satz als bloſses Spiel der Phantasie erscheinen muſs, so stimmt dieser letztere mit dem bekannten Verhalten der Säule selbst nicht überein, welche als bloſser Erreger der Elektricität diese rücksichtlich des Quantitativen den Metallflächen, rücksichtlich des Intensiven den Mengen der Elemente proportional hervorruft, ohne ein gegenseitiges Aufheben dieser beiden Thätigkeiten. Daſs aber die Elektricität unter verschiedenen Bedingungen der Leitung und Strömung verschiedenartige Effecte zeigen könne, darf nicht mehr auffallen, seitdem man unter andern weiſs, daſs ein und dieselbe und auf gleiche Weise geladene Flasche das Schieſspulver durch einen nassen Bindfaden entzündet, durch einen Metalldraht aber bloſs umherstreuet. — Der elektrische Leitungsdraht ist dann fer-

1 Ein Hauptargument gegen diese Vorstellung Ampère's. S. unten IV. F. 2.

ner nach PRECHTL ein eigentlicher Magnet, und als eine trockne Säule zu betrachten, in welcher die nämliche Elektricitäts-Vertheilung vorhanden ist, wie in der isolirten Säule. „Eine wahre trockne Säule ist daher eine wahre magnetische Säule: sie wird nicht nur den Magneten afficiren, sondern sie wird auch bei hinlänglicher Intensität (durch die Anzahl der Schichten bewirkt) die tellurische Polarität zeigen[1]." — Hemmte nicht nach vielfachen Erfahrungen der Eifer, eine allgemeine Construction der Naturgesetze durch Speculation aufzufinden, die freie Urtheilskraft selbst großer Gelehrten, so wäre unbegreiflich, wie ein so erfahrner und scharfsichtiger Naturforscher, als PRECHTL ohne Widerrede ist, in diesen letzten Sätzen gerade das Gegentheil von demjenigen aufstellen konnte, was die Beobachtung und eine hierauf gegründete Theorie ergiebt und ergeben muſs. Die Elektricität nämlich sowohl allgemein als auch hauptsächlich die der Volta'schen Säule äuſsert die magnetischen Wirkungen so viel leichter und mit so viel gröſserer Stärke, je freier und ungehinderter sie strömt, weswegen zwei elektromotorische Elemente, durch die bestleitende Flüssigkeit getrennt, dem Verbindungsdrahte den stärksten Magnetismus ertheilen. Hiermit nicht wohl verträglich ist PRECHTL's Hypothese, daſs in einer solchen zweiplattigen Säule die stärkste Repulsion, in einer mehrplattigen der stärkste Chemismus gegeben sey, indem bekanntlich SINGER's Riesenapparat und HARE's Deflagrator am feinsten Elektrometer kaum eine Spur der Repulsion oder Attraction zeigen. Da aber jede unvollkommene Leitung, noch mehr aber jeder trockne Zwischenkörper, durch Erschwerung der freien elektrischen Strömung die Erzeugung des Magnetismus schwächt oder gänzlich aufhebt, so ist gar nicht abzusehen, wie eine trockne Säule vorzugsweise ein Magnet werden sollte, welche vielmehr den Versuchen zu Folge gar keine elektromagnetische Wirkungen zeigt. (II. i. A.) Ungleich richtiger, vollkommen naturgemäſs und klar ist es dagegen, wenn SEEBECK[2] aus seinen Versuchen gerade den entgegengesetzten Schluſs folgert. Indem nämlich die elektromagnetische Wirksamkeit mit der Vermehrung der Plattenpaare abnahm, wobei aber bekanntlich die elektrische Spannung wächst,

---

1 G. LXVII. 82 bis 84.

2 Berlin. Denksch. 1820—21. S. 308 u. 9.

eine trockne Säule von 800 Lagen dagegen nicht die mindeste Wirkung auf die Magnetnadel äufserte, ein Goldblattelektrometer aber zum Anschlagen brachte, so ist eine wesentliche Verschiedenheit der Elektricität und des Magnetismus keinen Augenblick zu bezweifeln.

Späterhin hat sich indefs Prechtl selbst gegen eine Identität der Elektricität und des Magnetismus erklärt, da die Wirkungsarten beider verschieden sind. Allein diese Verschiedenheit beider bezieht sich dennoch zunächst nur auf die Erscheinungen, welche sie darbieten, indem übrigens beide auf einer einzigen Grundursache beruhen sollen[1], welches also auf Oersted's Ansicht zurückkommt.

Aus dieser Darstellung geht wohl unverkennbar hervor, dafs wir noch weit entfernt sind, die Naturphänomene aus ihren höchsten und einfachsten Grundgesetzen ableiten oder auf diese zurückführen zu können. Wäre dieses überhaupt möglich, so konnte es schon früher geschehen, und bedurfte es hierzu nicht erst der Entdeckung des Elektromagnetismus, welcher eben seiner Neuheit wegen noch obendrein am wenigsten geeignet war, diesen kühnen Versuch daran zu wagen. Von einer Theorie des Elektromagnetismus kann also nichts weiter gefordert werden, als dafs sie *die gesammten Erscheinungen desselben unter ein oder einige allgemeine und mit sich selbst übereinstimmende Hauptgesetze bringe, und wo möglich zugleich zeige, in wie fern diese mit den bekannten Gesetzen der Elektricität und des Magnetismus übereinstimmen.* Diese höchst schwierige Aufgabe ist zwar von verschiedenen Gelehrten versucht, ohne dafs es jedoch bis jetzt nach meiner Ansicht noch irgend einem gelungen ist, sie völlig befriedigend zu lösen, welches vielleicht hierbei eben wie bei so manchen andern Gegenständen der Naturforschung dem menschlichen Geiste für immer unmöglich bleibt. Es ist indefs erforderlich, die verschiedenen Theorieen einzeln zu prüfen, damit sie künftigen Versuchen dieser Art zur Grundlage dienen können. Hierbei bleibt es unberücksichtigt, welche Vorstellungen über das eigentliche Wesen der Elektricität und des Magnetismus zum Grunde liegen, wenn nur die Theorie die *Erscheinungen selbst* genügend ausdrückt und erklärt.

---

1 Kastner's Archiv. II. 164.

A. Oersted's Theorie.

Diese muſs als die zuerst aufgestellte und noch mehr wegen des berühmten Erfinders des Elektromagnetismus billig voranstehen, kann aber wegen ihrer Einfachheit dem Wesen nach mit wenigen Worten dargestellt werden. Schon in der ersten Schrift, wodurch die neue Entdeckung bekannt wurde[1], stellte Oersted die Hypothese auf, daſs die Elektricität auf die magnetischen Theilchen der Körper wirke, welche einen Widerstand dagegen ausübten, und dadurch in Bewegung gesetzt würden. Die Bewegung der Elektricität in den Leitern konnte nicht anders als fortschreitend angenommen werden, und da die Bewegung des magnetischen Poles um den Leitungsdraht kreisförmig erschien, so konnten beide nicht anders als in einer schraubenförmigen Umkreisung vereinigt werden, weswegen Oersted der Elektricität oder vielmehr dem hierdurch erzeugten Magnetismus eine solche zuschrieb. Bei der Annahme von zwei Elektricitäten sollte dann die + E. in ihrer Wirbelbewegung den Südpol des Magnetes zurückstoſsen, die — E. aber in entgegengesetzter Richtung wirbelnd den Nordpol, beide aber auf die entgegengesetzten Magnetismen gar keinen Einfluſs ausüben. Nach späteren ausführlicheren Erklärungen Oersted's[2] ist ein Hauptsatz seiner Theorie, daſs in dem mit Widerstand verknüpften Zusammentreffen der entgegengesetzten Elektricitäten diese eine eigenthümliche Wirkungsform annehmen, nach welcher die positiv elektrische Kraft den magnetischen Südpol abstöſst, den Nordpol anzieht; die negative dagegen den Nordpol abstöſst und den Südpol anzieht; die Bewegung beider Elektricitäten geschieht aber in einer Schraubenlinie. Oersted erläutert seine Ideen durch eine graphische Darstellung. Es bezeichnet nämlich AB eine solche in eine gerade Linie ausgespannte spiralförmige Windung, deren Magnetismen von B mit + anfangend nach A hin in — übergehen, indem jenes die Zuströmung der positiven, dieses dagegen der negativen Elektricität bezeichnet. In der Richtung von + aus wird dann der Süd-

Fig. 122.

1 Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae 21. Jul. 1820. Für die Theorie der Wirbel hat sich auſserdem hauptsächlich Wollaston erklärt. S. G. LXVIII. 82.

2 Schweigg. J. XXXII. 199. XXXIII. 123.

pol der Magnetnadel, von — aus aber der Nordpol abgestofsen. Biegt man einen so geformten Stab in einen Kreis, so stellt derselbe einen Querschnitt des elektrischen Leitungsdrahtes vor. Ob dann die gesammten Lagen dieser magnetischen Polaritäten schraubenförmige Windungen oder Kreise bilden, läfst Oersted zwar in gewisser Hinsicht zweifelhaft, ist aber geneigter die erstere Meinung anzunehmen. Hält man nämlich nach der bisher üblichen Ansicht die Bewegung der Elektricität in dem Leiter für eine fortschreitende, so mufs aus dieser und der Umkreisung um denselben nothwendig die schraubenförmige entstehen, wobei dann die Gründe entwickelt werden, nach denen man die einzelnen Windungen für einander ausnehmend nahe liegend anzunehmen hat; besteht aber der Fortgang der Elektricität aus Pulsationen, wie in der Schall- und Lichtbewegung, so würde man Kreise anzunehmen haben. Dafs die letztere Vorstellungsart unzulässig sey, verdient kaum bemerkt zu werden; denn abgesehen davon, dafs auch in der Schall- und Lichtbewegung allerdings ein Fortschreiten und nicht blofs eine kreisförmige Wellenschwingung statt findet, so kann man ja eine Entladung, mithin eine eigentliche Ausströmung und Fortführung der Elektricität aus solchen Körpern, worin sie angehäuft ist, nachweisen, wobei das ausnehmend schnelle Durchlaufen der positiven und negativen Elektricität von einem Ende des längsten Leitungsdrahtes zum andern schon daraus unwidersprechlich hervorgeht, dafs sie am entfernten Ende nicht eher wirksam seyn kann, als bis sie dort angekommen ist. Man würde sich aber in einen Widerstreit mit den ausgemachtesten elektrischen Erscheinungen verwickeln, wenn man annehmen wollte, dafs die Elektricität nicht wirklich in den Leiter eindränge, sondern demselben nur gewisse Pulsus zur Fortpflanzung mittheile. Bei dem aufserordentlich schnellen Fortgange der Elektricität in den vollkommenen Leitern mufs man geneigt seyn, die sie nach Oersted umgebenden Schraubenlinien für merklich gestreckt zu halten. Weil dieses aber zu den Erscheinungen nicht pafst, so sollen sie vielmehr den Kreisen unendlich nahe kommen, indem er die fortschreitende Bewegung für verschwindend klein gegen die umkreisende ansieht, was sich freilich durch Beobachtung weder prüfen noch widerlegen läfst, bei der schnellen Fortleitung der Elektricität aber mindestens unvorstellbar wird.

Nimmt man einmal diese Wirbeltheorie an, so folgt das elektromagnetische Hauptphänomen aus derselben sehr leicht. Ist nämlich A der Querschnitt eines verticalen elektrischen Leiters, sind B und C zwei Magnetnadeln, so werden ihre Pole beide nach der nämlichen Seite, und zwar wie es die Zeichnung ausdrückt, östlich abweichen, a durch die von Westen kommende negative, b durch die in eben dieser Richtung wirbelnde positive Elektricität. Indem aber alle elektromagnetische Erscheinungen oben auf diesen einen Hauptversuch zurückgeführt sind, so würde es überflüssig seyn, noch weiter zu zeigen, wie Oersted namentlich die durch Ampère gemachte und so hoch angeschlagene Entdeckung, dafs zwei parallele elektrische Leiter bei gleichlaufender Strömung sich anziehen, bei ungleichlaufender aber abstofsen, ohne Schwierigkeit zu erklären vermag, und daher die von jenem aufgestellte Theorie nur als eine weitere Ausbildung der seinigen anzusehen geneigt ist.

Fig. 123.

Gegen diese Theorie sind verschiedene Einwendungen gemacht, und man kann bei ihrer genauen Prüfung nicht umhin zu gestehen, dafs sie mit einiger Willkühr erfunden ist, und weder alle Erscheinungen erklärt noch auch damit überhaupt in Einklang zu bringen ist, so gern sonst jeder gerade dieser am liebsten beipflichten würde, theils aus Achtung gegen ihren Erfinder, theils wegen der Einfachheit, womit sie aus dem zuerst aufgefundenen Hauptphänomene abgeleitet ist. Folgende sind die hauptsächlichsten Gründe, welche derselben im Wege stehen.

1. *Die Annahme einer Wirbelbewegung der Elektricität oder des Magnetismus ist an sich willkührlich und durch keine Thatsache hinlänglich begründet, steht vielmehr mit einigen im Widerspruche.* Der Elektricität, als solcher, können zuvörderst keine solche Wirbel zugeschrieben werden, denn was man bei Wasserhosen und Landtrompen wahrnimmt, ist secundäre Wirkung der elektrischen Anziehung, und daraus zu erklären, dafs freischwebende Massen durch ungleichen Druck, excentrischen Stofs, partielle Anziehung u. dgl. eine solche Bewegung nach mechanischen Gesetzen sehr leicht annehmen, wie namentlich durch die Rotationen der Luftballons und der grofsen Massen des Polareises genugsam erwiesen ist. Die Elektricität wirkt nach zahllosen und unzweideutigen Erscheinungen nur in gerader Linie anziehend und abstofsend, und jeder leichte Körper wird durchaus nur in dieser Richtung einem elek-

trischen Leiter genähert oder von ihm zurückgestoſsen. Die Wirbelbewegung kann daher dem erregten Magnetismus keineswegs durch die Elektricität mitgetheilt werden, sondern sie müſste in ihm selbst zu suchen seyn, zu welcher Annahme aber wieder kein Grund in dem Verhalten desselben bei gemeinen Magneten zu suchen ist, indem diese vielmehr sich wechselseitig gleichfalls in geradliniger Richtung anziehen und abstoſsen. Ueberlegt man aber weiter, daſs die elektromagnetischen Wirkungen eines in die vollkommensten Isolatoren eingeschlossenen Verbindungsdrahtes durchaus unverändert bleiben, so würde hieraus folgen, daſs die magnetischen Wirbel erst *auſserhalb* der isolirenden Zwischenmittel anfangen müſsten, wonach das Willkührliche einer solchen Hypothese noch mehr in die Augen fällt[1].

2. *Die Theorie ist in sich nicht consequent und kaum vorstellbar.* Da die Elektricität die angenommene rotirende Bewegung erweislich nicht hat, so müſste man es als eine individuelle Wirkung derselben ansehen, daſs sie dem Magnetismus diese Umkreisung mittheilte, und hiergegen wäre nichts einzuwenden, wenn man eine solche als durch das Verhalten der Magnetnadel factisch erwiesen ansehen wollte. Ist aber der Leiter in einen vollkommenen elektrischen Isolator eingeschlossen, durch welchen die Elektricität nicht dringt, so ist nicht abzusehen, wie dann, auſserhalb des isolirt abgeschlossenen elektrischen Leiters, noch beide Magnetismen in entgegengesetzter Richtung umkreisen, und stets von einander getrennt die ihnen eigenthümliche Anziehung und Abstoſsung gegen jeden genäherten Pol, nur *nicht gegen sich selbst* ausüben sollten, indem sie im letzteren Falle sich zur Indifferenz neutralisiren müſsten. Hier tritt also der Fall ein, daſs man ihnen eine bekannte wesentliche Wirksamkeit zugleich beilegen und auch absprechen müſste. Unfaſsbar wird aber die Vorstellung solcher Wirbel, wenn man die Geschwindigkeit berücksichtigt, welche die äuſsersten Theile derselben erhalten müſsten. Nach Boeckmann (III. B. 15.) wirkt ein elektrischer Funken aus einer Flasche von mittlerer Gröſse bis auf 4 F. Entfernung noch so stark auf eine Stahlnadel, daſs diese Spuren des erregten Magnetismus zeigt, und nach Seebeck (III. A. 9.) übt der Verbindungsdraht unge-

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 216.

wöhnlich starker Elektromotoren bis auf 10 F. noch ablenkende Kraft auf eine Nadel aus. Hiernach müfsten die Wirbel einen Cylinder um den Leitungsdraht bilden, dessen Durchmesser 20 F. betrüge, und wenn dann die bekanntlich grofse Geschwindigkeit der durchströmenden Elektricität verschwindend klein gegen die der Wirbel wäre, wie OERSTED deswegen annimmt, damit die schraubenförmigen Bahnen nahe kreisförmig werden, so müfsten die äufsersten magnetischen Theilchen eine Geschwindigkeit erhalten, welche die des Lichtes um ein Vielfaches übertreffen würde. Strömte aber die Elektricität gar durch Spiralen oder Multiplicatoren, so ist nicht abzusehen, wie diese dicken Wirbelcylinder neben einander ohne gegenseitige Störung bestehen könnten.

Ferner aber zeigt sich in dieser Theorie eine Inconsequenz, welche aus der Annahme einer Identität der Elektricität und des Magnetismus nothwendig entstehen mufste, indem das Bestreben diese zu demonstriren mit dem unbezwinglichen Gefühle ihrer reellen Verschiedenheit in Widerspruch kommt. OERSTED gesteht nämlich die Bewegung der Elektricität als solcher im Leitungsdrahte als eine wirkliche Strömung oder als wellenartige Pulsus zu, und in soweit ist sie Elektricität und kein Magnetismus. Zugleich aber erzeugt sie magnetische Wirbel, welche den Leiter umkreisen, aber keine elektrische Wirkungen äufsern, mithin zum Magnetismus und nicht zur Elektricität gehören. Ist nun die Rede insbesondere von einem in eine isolirende Hülle eingeschlossenen Leiter, so bleibt um so auffallender die Frage unbeantwortet, woher der aufserhalb der Isolirung wirksame Magnetismus komme. Die im Leiter befindliche, der Isolirung unterworfene, Elektricität kann es nicht seyn, da diese sich fortschreitend bewegt und durch ihre zerlegende Kraft auf Alkalien und Säuren, desgleichen durch die Erhitzung der Metalle ihre Natur und Wirksamkeit beurkundet, ohne die magnetischen Wirkungen dadurch aufzuheben, auch kann diese nicht durch die Isolirung dringen, und eine Hauptfrage über den Ursprung des Magnetismus in den Wirbeln bleibt sonach ganz unerörtert.

3. *Endlich erklärt diese Theorie nicht alle Phänomene und steht vielmehr mit einigen im Widerspruche*, so einfach auch die anfängliche Haupterscheinung in derselben dargestellt ist. Jede Bewegung zuvörderst, welche einem magnetischen

Körper durch die umkreisenden Wirbel gegeben werden kann, liegt in gleichem Abstande von der geometrischen Axe des Leitungsdrahtes, und kann sich dieser unmöglich nähern, weit eher von derselben vermöge der Schwungkraft entfernen, mithin ist das Anhängen des Eisenfeilichts an den Verbindungsdraht der Elektromotoren hiermit im Widerspruche. Auch die oben (III. A. 8.) angegebene völlige Umkehrung der Nadel ist aus dieser Theorie nicht erklärlich, sobald man die Wirbel als fast kreisförmig betrachtet, und wollte man zu der schraubenförmigen Bewegung seine Zuflucht nehmen, so müſste es einen vom rechten Winkel wenig abweichenden geben, bei welchem die Tangente an die Richtung des Wirbels mit der Axe der Nadel zusammenfiele, und daher jede Bewegung der letzteren unmöglich würde, was der Erfahrung widerstreitet[1]. Endlich bemerkt Schweigger[2], daſs die Wirbel verschiedener neben einander liegender Leiter einander stören müſsten, indem die zwischen je zwei Drähte fallenden bei gleicher Richtung der elektrischen Strömungen einander begegnen. Oersted könnte dieses Argument allerdings für sich benutzen, indem der magnetische Pol genau in der Mitte zwischen zwei Leitern indifferent wird (III. E. i. A.), allein dann ist unbegreiflich, warum eine spiralförmige Scheibe an der einen Seite bloſs nordpolarisch und an der andern südpolarisch wirkt (III. A. 11.), da doch beide Magnetismen jedes Theil des Leitungsdrahtes mit gleicher Stärke umkreisen sollen.

Man sieht bald, daſs Oersted seine Theorie zu frühe aufgestellt habe, ehe noch alle Thatsachen genügend bekannt waren, weswegen sie denn gerade mit den später aufgefundenen unvereinbar ist.

B. Faraday's Princip der kreisförmigen Bewegung.

Faraday[3] hat keine vollständige Theorie des Elektromagnetismus aufgestellt, allein bei seinen vielen, für die Erweiterung dieses Theiles der Naturlehre höchst wichtigen Ver-

---

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 215. Poggendorf bei G. LXVIII. 207.

2 Journ. XXXIII. 123.

3 G. LXXI. 168.

suchen geht er vorzugsweise von dem Grundsatze aus, dafs der magnetische Pol um den galvanischen Leiter oder letzterer um jenen eine kreisförmige Bewegung erhalten müsse (III. C. 6), und seine Ansichten schliefsen sich daher im Allgemeinen an die eben erörterten an. Ohne inzwischen seine Meinung ausdrücklich zu äufsern, scheint er doch der Autorität Wollaston's zu folgen, nach welchem ein nach einer Seite um einen Voltaschen Leiter kreisender elektrischer Strom alle Erscheinungen genügend erklärt. Was er übrigens von tangentialen Kräften äufsert, welche hierbei gleichfalls thätig seyn sollen, und worauf er die Phänomene zurückführen zu wollen scheint, ist dunkel, und da er das Ganze nicht zu einem vollständigen Systeme geordnet hat, so übergehe ich die Sache lieber ganz.

C. Ampère's Theorie.

Ampère, welcher sich vom Anfange der Entdeckung des Elektromagnetismus an um diesen Zweig der Naturlehre bei weitem am meisten verdient gemacht hat, stellte bald nachher eine Theorie auf, unter welche er alle die verschiedenen Phänomene zu vereinigen suchte, und auf welche er die von ihm selbst beobachteten und aufgefundenen Erscheinungen mit anscheinend grofser Consequenz zurückführte. Er selbst hat diese später nur noch wenig ausgebildet; dargestellt ist sie aufserdem aber insbesondere durch Gilbert[1], Babinet[2], Savary[3], Demonferrand[4] und andere. Man erhält eine vollständige Uebersicht derselben aus den zahlreichen Aufsätzen des Erfinders in der bekannten Zeitschrift von Gay-Lüssac und Arago vom 15ten Bande an, oder mit manchen hinzugefügten erläuternden

---

1 In allen aufgenommenen Abhandlungen Ampère's. In seinen Annalen Bd. LXVII. ff. hat Gilbert diese Theorie auf die einzelnen Erscheinungen angewandt.

2 Darstellung der neuesten Entdeckungen über die Elektricität und den Magnetismus u. s. w. durch Ampère u. Babinet, a. d. Fr. Leipz. 1822. 8.

3 Mém. sur l'application du calcul aux phénomènes él. par M. F. Savary. Par. 1823. Vergl. Ann. Ch. et Ph. XXII. 91.

4 Handbuch der dynam. El. u. s. w. insbesondere §. 67 u. 68, 74 ff. Eine mathematische Theorie ist ferner gegeben durch Hansteen in Magazin for Naturvidenskaberne af Lund. 1823. II. 2. p. 274. II, 3. p. 72.

Bemerkungen durch die ganze Reihe dieser Abhandlungen Ampère's, wie sie durch Gilbert in den Annalen wiedergegeben sind, kurz und vollständig in einer kleinen Abhandlung von Ampère[1] selbst, am ausführlichsten und mit einer sehr umfassenden Anwendung auf die meisten bis jetzt bekannten elektromagnetischen und thermomagnetischen Phänomene in der angezeigten Schrift von Demonferrand, aus welcher ich daher die folgende kurze Darstellung entnehme.

Ampère wurde auf die Idee, die Elektricität mit dem Magnetismus für identisch zu halten, anfangs durch die Beobachtung geführt, daſs zwei freischwebende elektrische Verbindungsdrähte bei gleichlaufender Strömung einander anziehen, und bei entgegengesetzter einander abstoſsen, mithin sich als wirkliche Magnete zeigen. Eigentlich müſste man hieraus eine Verschiedenheit der Elektricität und des Magnetismus folgern, da gleichartige Elektricitäten sich abstoſsen, allein Ampère faſste insbesondere den Umstand auf, daſs die in den Leitern thätigen anziehenden Kräfte einander nicht zur Erzeugung der Indifferenz neutralisiren, welches allerdings mehr mit dem Verhalten der Magnete als elektrischer Conductoren übereinstimmt. Indem aber spiral- oder schraubenförmig gewundene Drähte in ihrem wesentlichen Verhalten sowohl gegen einander, als auch gegen galvanische Verbindungsdrähte und wirkliche Magnete diesen letzteren vollkommen gleichen, so veranlaſste dieses Ampère zu der Hypothese, den Magnetismus elektrischen Strömungen zuzuschreiben, welche in senkrecht auf die Axen der Magnete gerichteten Ebenen liegen. Einen Beweis für die Existenz solcher Strömungen findet er in der Beobachtung Coulomb's, daſs abgerissene Stückchen eines Magnetes noch doppelte Polarität zeigen, weswegen man die angenommenen magnetischen Strömungen nicht als die ganze Masse des Magnetes umgebend zu denken habe, sondern vielmehr als um Theilchen kreisend, welche auch nach ihrer Trennung vom Magnetstabe ihre magnetischen Eigenschaften behalten, d. i. um solche, welche kleiner sind, als man sie durch mechanische Theilung erhalten kann.

---

1 Précis de la théorie de phénomènes électro-dynamiques. Par. 1824. Eine andere kleine Abhandlung von nur 32 S. in 8. ist: Exposé méthodique des phénomènes électro-dynamiques et des lois de ces phénomènes; par M. Ampère. Par. 1824.

In der Hauptsache sollen hiernach die krystallinischen Theilchen der Magnete den elektrischen Theilchen des Turmalins gleichen, mit dem Unterschiede, daſs bei ersteren das elektrische Leitungsvermögen hinzukommt, dessen Mangel letzteren hindert, ein Magnet zu werden [1]. Die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseyns solcher elektrischen Strömungen im Eisen und Stahl soll noch vermehrt seyn durch die Entdeckung des Thermomagnetismus. (Die leicht mögliche Aufhebung des elektrischen Neutralitätszustandes durch die verschiedensten Ursachen kannte man schon vorher, namentlich bei den Nichtleitern, und es müſsten daher entweder diese die besten Magnete seyn, wenn der Magnetismus auf einer Aufhebung des elektrischen Gleichgewichts beruhete, oder alle Leiter müſsten bleibend magnetisch seyn, am meisten Silber, Kupfer und die andern vorzüglich leitenden Metalle, wenn das Leitungsvermögen der Elektricität die Bedingung des Magnetismus wäre.)

Um die Entstehung des Magnetismus durch elektrische Ströme nachzuweisen, geht DEMONFERRAND von den schraubenförmig gewundenen Drähten aus, welche allerdings ganz eigentliche Longitudinalmagnete bilden. Hiernach hat man also eine Reihe Theilchen, welche mit der Axe des Magnetes parallel liegen, so anzusehen, als ob sie durch Vereinigung ihrer elektrischen Ströme einen jenen Schrauben ähnlichen Apparat bildeten, und ein Magnet müſste also aus einer groſsen Menge paralleler, sämmtlich von solchen nach einer Richtung kreisenden elektrischen Strömen umgebener, Cylinder bestehen, welche dann, in einen Stab vereinigt, allerdings einen bipolaren Magnet erzeugen könnten. Dieses zu versinnlichen sey A der Durchschnitt eines cylindrischen Magnetstabes normal auf seine Axe, jedes einzelne Cylinderchen a, a, a..., im gleichen Durchschnitte gezeichnet, stellt ein Element desselben vor, wobei die Pfeile die entgegengesetzten Strömungen der Elektricität an-

Fig. 124.

1 Obgleich es zweckwidrig seyn würde, hier alle Argumente kritisch zu prüfen, so muſs es dem nachdenkenden Leser doch auffallen, daſs aus diesem an die Spitze gestellten gerade das Gegentheil folgt. Das angegebene Verhalten der Magnete ist nämlich ganz richtig, und im Wesen derselben gegründet; wenn man dagegen elektrisirte Körper trennt, so wird jedes Theilchen nur *eine* Elektricität zeigen, und nicht wie das magnetische beide Magnetismen. Pulverisirter Schwefel z. B. ist durchaus negativ u. s. w.

deuten, und der nämliche Effect, welcher durch diese letzteren rücksichtlich der Erzeugung eines aus Draht gewundenen Magnetes statt findet, muſs sich also auch bei einem Stahlmagnete zeigen, indem die gesammten Wirkungen im ganzen Kreise $\alpha\beta\gamma$ vereinigt sind. Werden dann die schraubenförmigen Magnete mit den gemeinen rücksichtlich ihrer Lage nach den Weltgegenden und der Richtung der elektrischen Strömungen verglichen, so gleichen die letzteren rücksichtlich dieser ihrer Polarität solchen der ersteren, bei denen die elektrischen Ströme von W. durch das Zenith nach O. und durch den Nadir rückwärts nach W. gelangen. Hiernach müssen also in einem gemeinen Magnete die elektrischen Strömungen oben eine Richtung von W. nach O, unten die entgegengesetzte von O. nach W. haben. Berücksichtigt man aber weiter, daſs der tellurische Magnetismus der entgegengesetzte des im künstlichen Stahlmagnete vorhandenen seyn muſs, so folgt hieraus nach Ampère, daſs die durch den Lauf der Sonne aufgeregte Elektricität in der Richtung von O. nach W. oberhalb, und von W. rückwärts nach O. unterhalb die Erde zu einem im astronomischen Norden südpolaren Magnete machen müsse. Auf diese im elektrischen Leiter angenommenen entgegengesetzten Strömungen hat Ampère die gesammten elektromagnetischen Erscheinungen zurückgeführt, sie liegen bei den mit groſsem Scharfsinn von ihm aufgestellten Formeln zum Grunde. Indeſs ergiebt eine nähere Prüfung bald, daſs hierbei eigentlich die jedem Elemente des elektrischen Leiters allerdings zukommenden bipolar magnetischen Anziehungen und Abstoſsungen construirt werden, denen Ampère die elektrischen Strömungen ohne genügenden Beweis unterschiebt.

Fig. 125.

So sinnreich nämlich diese Darstellung auch ausgedacht ist, und so sehr sie sich insbesondere durch die letzteren Anwendungen empfiehlt, indem sie bedeutende Aufschlüsse über die Entstehung des tellurischen Magnetismus giebt, und noch bedeutendere selbst hinsichtlich der Rotationen der Erde verspricht [1],

---

1 Mehrere Physiker, ich selbst schon 1822, Herapath 1824 und Sturgeon bald nachher haben die Idee geäuſsert, daſs sich die Rotation und der Umlauf der Planeten um die Sonne vielleicht auf ihren elektromagnetischen Zustand zurückführen lasse. S. Phil. Mag. N. LXV. 179. Indeſs ist die Sache zu sehr hypothetisch.

so zeigt sie doch bei näherer Prüfung auffallende Schwächen, und kann deswegen nicht unbedingt als Grundlage einer Theorie angenommen werden. Es läfst sich zwar im hohen Grade wahrscheinlich machen, dafs der tellurische Magnetismus das Resultat des Thermomagnetismus ist, welcher als elektrischer Zustand, durch den Impuls der Sonnenstrahlen erzeugt, sowohl die Polarität überhaupt, als auch die täglichen und jährlichen Variationen der Magnetnadel bedingend gedacht werden könnte. Man dürfte ferner ohne den Vorwurf allzukühner Hypothesen, annehmen, dafs die Erde vermöge ihrer Gröfse auf gleiche Weise eine so starke magnetische Kraft durch die ungleiche Erwärmung in Vergleichung mit kleineren Thermomagneten zeige, als ein auffallender Unterschied zwischen der Elektricität im Gewitter, und der kaum merkbaren bei der Bildung und Zersetzung des Wasserdampfes entstehenden statt findet. Wie unzulässig es dagegen sey, den *Magnetismus im Stahle* von solchen elektrischen Strömungen abzuleiten, dieses mufs auch ohne Rücksicht auf den Umstand, dafs die elektrischen Ströme in dem aus schraubenförmig gewundenen Drahte bestehenden elektrischen Magnete die im Stahlmagnete fehlende Isolirung nothwendig fordern, insbesondere auch daraus hervorgehen, dafs jeder Magnet, wie grofs oder klein und von welcher Gestalt er auch seyn mag, in jeder Lage und Richtung seiner magnetischen Axe im Strome der galvanischen Elektricität zum Leiter der letzteren, mit dem einem solchen allgemein zukommenden Magnetismus, wird, wodurch also der Unterschied beider Arten von Magnetisirung in ein und demselben Exemplare gegeben ist. Wenn aber die Richtung der elektrischen Strömungen den Magnetismus im Stahlmagnete erzeugte und bedingte, wie im elektrischen Leiter, so müfste bei der Unveränderlichkeit jener Strömungen der Nordpol des gemeinen Magnetes stets nach Norden gerichtet seyn, wenn man denselben auch durch einen ganzen Kreis im Azimuthe herumdrehete. Die Nichtleitung des Magnetismus im Stahle hebt dieses Argument nicht auf, wie aus dem eben Gesagten folgt, wenn man nicht einen Unterschied zwischen den natürlichen und den künstlich galvanischen elektrischen Strömungen einführen, und damit die ganze Theorie wieder aufheben will.

Eine Hauptstütze für seine Theorie findet Ampère darin, dafs sich die verschiedenen Formen, in denen sich ein gemei-

ner Magnet als bloſser Stab, als Inclinationsnadel, Declinationsnadel und sogar als astatische Nadel zeigt, durch den galvanischen Leitungsdraht gleichfalls darstellen lassen. Dieses hat allerdings etwas überraschendes, und die Bemühung, alle diese verschiedenen Formen künstlich darzustellen, veranlaſste die Erfindung der verschiedenen interessanten Apparate, welche gröſstentheils oben beschrieben sind. Genau genommen besagt dieses indeſs nichts anders als die ohnehin anerkannte, allerdings höchst wichtige Thatsache, daſs im elektrischen Leitungsdrahte ganz eigentlicher Magnetismus hervorgerufen werde, und man also durch zweckmäſsige Benutzung seiner Polaritäten die Stahlmagnete künstlich nachzubilden vermöge. Eben hiernach muſs sich indeſs dem unbefangenen Forscher nothwendig die Bemerkung aufdringen, daſs es beim gemeinen Magnete der elektrischen Strömungen nicht bedarf, um den Magnetismus hervorzurufen, welcher vielmehr bleibend in demselben enthalten ist, und daſs diesemnach zwar in beiden die nämliche Potenz wirksam ist, jedoch durch ganz verschiedene Bedingungen in ihnen hervorgerufen wird, und sich auf zwei nicht ganz unwesentlich abweichende Arten äuſsert.

Daſs ein von einem kräftigen galvanischen Strome durchströmter Leiter Eisenfeilicht anzieht, ist allerdings schwierig zu erklären, wenn man berücksichtigt, daſs eben derselbe den Pol einer Nadel nicht sowohl anzieht oder zurückstöſst, sondern zum Umkreisen sollicitirt. Ampère erklärt indeſs dieses Phänomen in Gemäſsheit seiner Theorie und insbesondere mit Rücksicht auf den oben (F) angeführten Versuch, wonach ein elektrischer Strom in einem mit ihm parallelen Leiter gleichfalls den Magnetismus hervorruft, auf folgende Weise. Er nimmt an, daſs entweder in jedem Eisentheilchen die elektrischen Strömungen schon präexistiren, oder nach allen Seiten gerichtet sind, und sich daher neutralisiren, bis sie durch die elektrischen Strömungen eines andern Magnetes erst eine bestimmte Richtung erhalten; oder daſs keine in demselben vorhanden sind, sondern durch einen genäherten Magnet erst hervorgerufen werden. Welche von diesen beiden Ansichten die richtige sey, darüber wagt er bei unserer Unkenntniſs vom eigentlichen Wesen der Elektricität nicht zu entscheiden. Hierbei dringt sich indeſs abermals die Frage auf, warum die in einem Magnete vorhandenen elektrischen Ströme nicht ganz gleiche elektrische

Wirkungen hervorbringen, als die in einem galvanischen Leiter; warum ferner der Magnetismus im Eisen nicht auf gleiche Weise bleibend erhalten wird als im Stahle, da doch beide rücksichtlich der elektrischen Leitungsfähigkeit nicht von einander abweichen, und warum endlich die den Magnetismus im Stahle erzeugenden Strömungen nicht auch eine gleiche Wirkung in andern Metallen (aufser Nickel und Kobalt) hervorrufen, da doch der Stahl rücksichtlich seiner elektrischen Leitungsfähigkeit weder zu den besten noch den schlechtesten elektrischen Leitern gehört[1].

Es ist bei der Darlegung dieser Theorie schon beiläufig auf die darin herrschende Willkühr und den Mangel an innerer Consequenz hingedeutet[2], welche Fehler indefs hauptsächlich aus der Voraussetzung der Identität der Elektricität und des Magnetismus hervorgehen. Eine weitere willkührliche Annahme, nicht aus dem Wesen der Sache hergenommen und nicht wieder bis dahin verfolgt, liegt gleich in der Einleitung zu dieser Theorie der Voraussetzung zum Grunde, nach welcher Ampère, in Uebereinstimmung mit Oersted, zweierlei Wirkungsformen der Elektricität annimmt, nämlich die mit Spannung versehenen, durch Stofs und Druck sich äufsernden, und die in freien Strömungen bestehenden, in den chemischen, erwärmenden und magnetischen Phänomenen sich zeigenden. Allein dafs diese, von einigen wenigen Naturerscheinungen hergenommene Ansicht auf andere nicht passe, fällt dem unbefangenen Forscher sogleich in die Augen. Unter andern zeigt sich nämlich die Elektricität nicht wohl in stärkerer Spannung, als beim Blitzstrahle, und dennoch bringt dieser nicht blofs dicke Stangen zum Glühen, sondern erzeugt auch im Stahl bleibenden und starken Magnetismus. Dafs ein Unterschied in den Wirkungsarten der Reibungselektricität und der Volta'schen statt finde, ist zwar keinen Augenblick zu bezweifeln, allein allgemein und scharf begrenzt ohne Rücksicht auf die verschiedene Stärke und anderweitige Modificationen kann man denselben nicht nennen.

---

1 Vergl. G. G. Schmidt bei G. LXXIV. 262.

2 Dieses findet insbesondere auch Biot, dafs namentlich stets eine neue Hypothese zur Unterstützung der schon aufgestellten gesucht werden mufs, weswegen er geneigter ist, die Erscheinungen am elektrischen Leiter als rein magnetisch zu betrachten. S. Précis élém. de Phy. II. 772. Vergl. Journ. des Savans. 1821. Avril.

Aufserdem läfst sich noch ein Mangel innerer Consequenz bei dieser Theorie nachweisen. Ampère hat nämlich die Erfahrung dabei zum Grunde gelegt, dafs ein schraubenförmig gewundener Draht einen bipolaren Magnet darstellt. Diese Aehnlichkeit ist richtig, indefs folgt die Art der Wirksamkeit solcher schraubenförmig gewundenen Drähte aus der anfänglichen Beobachtung Oersted's, wie oben nachgewiesen ist, statt dafs nach Ampère eigentlich dieses letztere Phänomen aus jenem erklärt werden müfste. Allein hiervon abgesehen geht dieser Gelehrte von solchen schraubenförmig gewundenen Drähten, die einen mefsbaren Durchmesser haben, in seinen Schlüssen über die Wirkungen der natürlichen Magnete zu solchen über, welche kleiner sind, als unsere Messungen umfassen, und von denen es daher fraglich ist, ob sie dann noch als solche Spiralen, oder als massive Stahltheilchen, und nicht um einen, wenn auch noch so kleinen Raum gewundene Schraubenwindungen anzusehen sind. Die Willkühr in dieser unbewiesenen Voraussetzung mufs so viel mehr auffallen, wenn man berücksichtigt, dafs in der Länge des Stahlmagnetes diese hypothetischen Windungen ohne Unterbrechung von einem Ende zum andern in vollkommener Leitung vorhanden seyn müssen, indem eine Unterbrechung die Wirksamkeit aufheben würde; nach der Dicke des Stahlmagnets soll dagegen eine Isolirung der einzelnen Schraubenwindungen statt finden, ohne welche sie in einander fallen, und sich aufheben müfsten. Da man aber aus einem Längenmagnete einen Transversalmagnet machen kann und umgekehrt, so müfste ja nach der Willkühr des Operirenden in einem Stahlstücke die elektrische Leitung nach jeder Seite hin hervorgebracht und aufgehoben werden können. Ampère hat, um einigen Einwendungen zu begegnen, erst später diese einzelnen verschwindend kleinen, durch ihre Gesammtwirkung einen Stahlmagnet bildenden, Schraubenwindungen in seine Theorie aufgenommen[1].

Dasjenige, was mir selbst und gewifs auch vielen andern die genauere Kenntnifs und Uebersicht der Ampère'schen Theorie ausnehmend erschwert hat, ist der Umstand, dafs ihr berühmter Erfinder das ursprüngliche Hauptfactum, nämlich die eigenthümliche magnetische Wirkungsart des einfachen elek-

1 G. LXXII. 257.

trischen Leiters auf die Magnetnadel eigentlich ganz unerklärt läſst, während er mit vielem Scharfsinn die Entstehung eines Stahlmagnetes aus elektromagnetischen gewundenen Leitern ableitet, und den gegenseitigen Einfluſs beider auf einander unter den mannigfaltigsten Modificationen mit bewundernswerther Kunst entwickelt. Auch seine mit groſser Gewandtheit im Calcül und Anwendung der scharfsinnigsten Combinationen durchgeführte geometrische Construction der gesammten elektromagnetischen Erscheinungen legt die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischer Ströme auf einander zum Grunde, und übergeht somit die Wirkung des einfachen Leiters auf die Magnetnadel, welche Ampère übrigens als Thatsache mitzutheilen keineswegs verabsäumt. Wenn man aber in der aufgestellten Theorie rückwärts von einem Magnete zu einem einfachen galvanischen Leitungsdrahte übergeht, so kann man in demselben nur einen bipolaren Transversalmagnet finden, welcher indeſs die Phänomene nicht erklärt; oder man muſs zu den Wirbeln nach Oersted seine Zuflucht nehmen, wie denn auch dieser Physiker die Ampère'sche Theorie nur als eine Erweiterung seiner eigenen betrachtet, wonach aber die Erklärung der gemeinen Magnete aus den elektromagnetischen Strömungen sich in ein noch weit mehr unauflösliches Gewirre verlieren würde, als dieses schon bei den aus schraubenförmig gewundenen Drähten bestehenden Cylindern und den Multiplicatoren der Fall ist[1].

Verschiedene Physiker haben Ampère's Theorie dadurch zu widerlegen gesucht, daſs sie einen Widerspruch derselben mit den Erscheinungen aufgefunden zu haben glaubten. Allein Ampère ist allen diesen Einwürfen begegnet, und hat bei den meisten nachgewiesen, daſs die ihm entgegengestellten Phänomene vielmehr aus seiner Theorie nothwendig folgten, welches übrigens nicht schwer seyn kann, wenn man einmal die Prämisse zugesteht, daſs ein elektrischer Strom seinen Leiter an der einen Seite nordpolar, an der andern südpolar magnetisch macht, hierbei die obere Seite der unteren, die rechte der linken entgegengesetzt, und hieraus ein Umlaufen der Pole um den ganzen Umfang des Leiters erzeugt werden läſst, aus welchem letzteren Gesetze alle elektromagnetischen Erscheinungen in ihren vielfachen Modificationen oben abgeleitet sind. Der

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 246.

Kürze wegen wird es daher am besten seyn, die bereits erledigten Einwürfe nur namhaft zu machen, bei denjenigen aber etwas länger zu verweilen, welche mir von gröfserer Bedeutung zu seyn scheinen.

Unter die erstere Classe gehören hauptsächlich folgende. 1. Von Althaus[1] zeigte, dafs die Anziehung von zwei Drähten bei gleichlaufender elektrischer Strömung aus der Theorie eines doppelt bipolaren Transversalmagnetismus weit leichter und consequenter, als nach Ampère erklärt werden könne; allein dieser Einwurf war zunächst nur gegen die anfänglich versuchte Ableitung dieser Erscheinung aus elektrischen Strömungen, als solche, gerichtet. 2. De la Rive[2] und, wie es scheint mit ihm übereinstimmend, Faraday[3] glaubten, dafs die Erscheinungen, welche der von ersterem angegebene schwimmende elektromagnetische Apparat darbietet, aus Ampère's Theorie nicht wohl erklärlich sey, wovon aber das Gegentheil schon ausführlich gezeigt ist[4]. 3. Einige Verschiedenheiten, welche Faraday[5] zwischen einem Stahlmagnete und einem aus schraubenförmig gewundenem Drahte bestehenden auffindet, sind nach dem Urtheile dieses Physikers selbst nicht sehr bedeutend, indem übrigens die Aehnlichkeit noch viel zu grofs ist, als dafs sich hieraus ein entscheidendes Argument gegen die Zulässigkeit der Theorie hernehmen liefse. 4. Endlich verdient ein Einwurf, welchen de la Rive[6] aus dem Verhalten eines in einer horizontalen Ebene beweglichen horizontalen Leiters mit zwei herabhängenden Armen hernimmt, nur deswegen kurz erwähnt zu werden, um nicht übersehen zu scheinen. Uebrigens aber sind alle Bewegungen solcher elektromagnetischer Drähte so vielfach untersucht, wie auch die mitgetheilte Beschreibung derselben darthut, dafs hieraus kein Gegenbeweis hergenommen werden kann, und aufserdem stimmt das von de la Rive beobachtete Verhalten genau mit den übrigen Phänomenen solcher Leiter überein.

---

1 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. S. 21 ff.

2 G. LXXI. 113.

3 Ebend. S. 149.

4 Demonferrand a. a. O. §. 50.

5 G. LXXI. 164.

6 G. LXXII. 130. Vergl. Gilbert ebend. S. 221.

Unter die zweite Classe, nämlich die noch nicht vollständig beseitigten Einwürfe scheinen mir folgende zu gehören. 1. Im Ganzen ist OERSTED's Argument[1], mindestens von einer Seite betrachtet, noch keineswegs genügend beseitigt. Wenn man nämlich zwei Magnetnadeln als durch elektrische Ströme magnetisch seyend betrachtet, so würde aus dem oft von AMPÈRE aufgestellten Satze, daſs Ströme von gleicher Richtung einander anziehen[2], nothwendig folgen, daſs sie sich mit ihren gleichnamigen Polen an einander legen müſsten, wovon indeſs die Erfahrung gerade das Gegentheil darthut. AMPÈRE sucht diesen Einwurf dadurch zu beseitigen, daſs er zu den von allen Seiten her gerichteten Strömungen in einem Stahlmagnete seine Zuflucht nimmt, woraus dann die Abstoſsung ihrer gleichnamigen Pole erklärlich werden soll; allein wenn man streng bei der Sache bleibt, so läſst sich eben so wenig die gleiche Richtung der elektrischen Ströme in Magnetnadeln nach AMPÈRE's Theorie zurückweisen, als das Factum der demnach statt findenden Abstoſsung leugnen. Das Verhalten beider Potenzen, sowohl der Elektricität als auch des Magnetismus, spricht auſserdem ganz entscheidend für OERSTED; denn man nähere einem + elektrischen oder magnetischen Pole so viele andere gleichnamige, als man will und in allen denkbaren Richtungen, so wird allezeit Abstoſsung und nirgends Anziehung sichtbar werden. Wirklich zeigt sich in dieser Hinsicht auch selbst ein elektromagnetischer schraubenförmig gewundener Draht mit einem Stahlmagnete völlig übereinstimmend. Hierbei tritt aber eben die oben schon bemerkte Schwäche der Ampère'schen Theorie und die Unzulässigkeit der Hypothese von der Identität der Elektricität und des Magnetismus sichtbar hervor. Wenn es nämlich darin heiſst: „*zwei elektrische Ströme von gleicher Richtung ziehen einander an*," so ist dieses falsch, und müſste vielmehr heiſsen: *zwei von der Elektricität in gleicher Richtung durchströmte Drähte ziehen sich vermöge des in ihnen erzeugten Magnetismus an.* Denn wirklich stoſsen sich hierbei die gleichartigen Elektricitäten ab, allein viel zu schwach, als daſs dieses merklich seyn sollte; die Magnetismen ziehen sich

---

1 Schweigg. J. XXXII. 222.

2 Biot Préc. élém. de Phy. II. 772 nennt diese Hypothese allen bekannten Erscheinungen widersprechend.

dagegen an, weil die Leitungsdrähte nicht in einander, ihre Magnetismen daher nicht zusammenfallen können, wie die um den ganzen Leiter überall gleichartigen Elektricitäten. Hinsichtlich des Magnetismus derselben ist aber oben und unten, rechts und links einander entgegengesetzt, und so müssen bei gleichartiger und gleichgerichteter elektrischer Strömung zwar gleiche Elektricitäten, zugleich aber entgegengesetzte Magnetismen zusammenfallen, welche letztere allein und im Widerstreite mit den elektrischen Wirkungen einander anziehen.

2. Je mehr Mühe Ampère aufgewandt hat, die Identität eines aus schraubenförmigen Windungen bestehenden, und eines stählernen Magnetes durch die Annahme gleichgerichteter elektrischer Strömungen darzuthun, um so viel schwerer wird es ihm werden, einem zweiten Einwurfe zu begegnen. Ein schraubenförmig gewundener Drahtcylinder kann nämlich eine Stahlnadel nur dann magnetisch machen, wenn beider Längenaxen zusammenfallen. Soll nun ein Stahlmagnet seinen Magnetismus gleichen elektrischen Strömungen verdanken, so kann gar kein oder bloſs ein transversaler Magnetismus in einem Stahlstabe erzeugt werden, wenn man ihn mit einem andern Magnete so streicht, daſs ihre beiden Axen normal auf einander gerichtet bleiben; es entsteht aber statt dessen ein Longitudinalmagnet[1].

3. Ein sehr gewichtiges, und, wie mir scheint, gar nicht zu beseitigendes Argument geht aus den interessanten Versuchen hervor, welche G. G. Schmidt bekannt gemacht hat[2]. Auf welche Weise durch einen elektrischen Leiter in Stahlnadeln, welche quer unter oder über demselben liegen, bleibender Magnetismus hervorgerufen wird, ist oben (III. B. 4 ff.) angegeben. Hiernach klebe man einen 2‴ bis 3‴ breiten Streifen Blattgold auf eine Glasplatte, lege quer darüber ein Stück Uhrfeder 1 bis 1,5 Z. lang, nachdem man dasselbe vorher mit Lackfirniſs überzogen hat, über diese wieder eine Glasplatte und auf diese einen Magnetstab so, daſs er mit seinem Nordpole das nördliche Ende der Uhrfeder decke, wodurch der Südpol so weit entfernt wird, daſs seine Wirkung nicht in Betrachtung kommt. Es habe dann gröſserer Deutlichkeit wegen der

1 Pfaff: der Elektromagnetismus. u. s. w. S. 242.

2 G. LXXIV. 263.

Blattgoldstreifen und die ihn durchströmende Elektricität die Richtung von O. nach W. In diesem Falle muſs ohne den Einfluſs des Stahlmagnetes das nördlich gerichtete Ende der Uhrfeder gleichfalls nordpolarisch werden. In dem Stahlmagnete sind aber nach Ampère die elektrischen Strömungen unten gleichfalls von Osten nach Westen gerichtet, die Uhrfeder liegt also zwischen zwei von O. nach W. gerichteten elektrischen Strömen, und müſste um so mehr am nördlichen Ende nordpolarisch werden, wird aber statt dessen *südpolarisch*. Legt man unter übrigens ganz gleichen Bedingungen den Südpol über die Uhrfeder, so wird das nördliche Ende stärker nordpolarisch, und man kann nicht umhin zu gestehen, daſs beide Resultate mit den Ampère'schen Wirbeln im Widerspruche stehen[1]. Die Erscheinung selbst wird übrigens durch G. G. Schmidt eben so einfach als genügend dadurch erklärt, daſs sowohl der elektrische Strom als auch der Stahlmagnet den Magnetismus im Stahle aufregen, und daſs hierbei die entstehende Polarität durch die Summe dieser gleichen oder entgegengesetzten Kräfte bedingt wird, wonach sie also sowohl positiv als auch negativ oder = 0 seyn kann[2].

D. Theorieen vom Transversalmagnetismus.

Eine groſse Anzahl von Physikern sehen in dem Leitungsdrahte der Elektricität nichts anders als einen *Transversalmagnet* mit der Axe parallel laufenden nördlichen und südlichen magnetischen Polaritäten. Wirklich kündigt sich derselbe sowohl in dieser seiner einfachen Gestalt, als insbesondere in seinen schraubenförmigen Windungen durch die alsdann zu beiden Seiten hervortretende entschiedene nördliche und südliche Polarität so deutlich als einen solchen an, daſs diese einfachste unter allen Erklärungsarten viele Anhänger finden muſste, um so mehr, als sie in der Bipolarität aller bekannten magnetischen Erscheinun-

---

1 Es scheint mir aus diesem Versuche, wie aus verschiedenen andern hervorzugehen, daſs die gröſste magnetische Kraft sich an den Enden der Stahlmagnete befinde, welches Faraday bei G. LXXI. 124 aus ungenügenden Gründen bezweifelt.

2 Verschiedene andere Einwendungen, obwohl nicht unbedeutende, übergehe ich der Kürze wegen; z. B. Leop. Nobili in Questioni sul Magnetismo. Modena 1824. Vorzüglich Qu. 5.

gen eine bedeutende Unterstützung hat. Jeder Querschnitt des elektrischen Leiters bildet sonach eine Fläche, in welcher um den Mittelpunct des elektrischen Stromes die entgegengesetzten magnetischen Pole liegen, deren Zahl von den Anhängern dieser Ansicht sehr verschieden angegeben wird. Alle diese mannigfaltig modificirten Theorieen haben mit Oersted und Faraday den Vorzug gemein, daſs sie von dem ersten Fundamentalversuche bei ihren Erklärungen ausgehen, und sie lassen sich bei allen Abweichungen von einander zur leichteren Uebersicht doch deswegen füglich zusammennehmen, weil sie mindestens in *einem* wesentlichen Puncte mit einander übereinkommen. Ueber das eigentliche Wesen der Elektricität und des Magnetismus und die Erzeugung des letzteren durch erstere erklären sie sich nicht weiter, als daſs sie beide für verschiedene Potenzen halten, und die dargebotenen Erscheinungen selbst als gegebene Thatsachen ansehen. G. G. Schmidt äuſsert sich hierüber am bestimmtesten, indem er sagt[1]: „daſs der elektrische Strom immer transversalmagnetisch erregend wirkt, und zwar in Beziehung auf seine Richtung nach derselben Seite immer dieselbe Polarität erzeugend, das kann nicht weiter erklärt werden, wie so vieles andere in der Physik. Es ist Thatsache.“ Etwas über die Sache selbst entscheidend drückt sich Seebeck[2] aus, wenn er annimmt, daſs *nicht die Elektricität an sich*, nicht *das Heraustreten derselben aus ihrem Indifferenzzustande* oder die Trennung des + und — den Magnetismus hervorrufe, sondern die *hierdurch bewirkte Veränderung im Innern der Körper*. Könnte durch die bloſse Ausgleichung von + und — E. Magnetismus erregt werden, so würden auch diejenigen Leiter derselben sich magnetisch zeigen, durch welche sie still hinströmt, welches nicht der Fall ist, und es kann daher diese Wirkung nur dann statt finden, wenn die Metalle auf eine solche Weise verändert werden, daſs sich Erwärmung, Schmelzung u. dgl. offenbaren. Daſs in den Metallen, wenn die Reibungs-Elektricität auch in geraumer Zeitdauer und bedeutender Stärke durch Spitzen in sie ein- und ausströmt, kein Magnetismus erregt wird, spricht allerdings sehr für diese Ansicht; wenn man aber berücksichtigt, daſs selbst die langsamen und schwachen

---

1 G. LXXIV. 265.

2 Berlin. Denksch. a. a. O. S. 334.

Strömungen durch Säuren und Laugensalze bedeutende Abweichungen der Magnetnadel hervorbringen, so wird auch dieser Punct wieder zweifelhaft, und wir müssen also zu dem Bekenntnisse zurückkommen, daſs wir die eigenthümliche Art der Erregung des Magnetismus durch die Elektricität noch nicht zu erklären wissen.

Es scheint auf den ersten Anblick, als wenn alle einen Transversalmagnetismus annehmende Theorieen an dem einfachen Phänomene scheitern müſsten, daſs die Spitze der Nadel vom elektrischen Leiter an einzelnen Stellen nicht sowohl angezogen und abgestoſsen wird, als vielmehr unter, über und neben demselben oscillirt. Am scheinbarsten ist dieses Argument, wenn eine feine, an einem Seidenfaden dicht über dem elektrischen Leiter schwebende, Nadel beim Schlieſsen der Kette durchaus keine Neigung zeigt, abgestoſsen oder angezogen zu werden, sondern mit groſser Energie östlich oder westlich abweicht, und nicht selten in einem ganzen Kreise herumgeschleudert wird. Es scheint mir daher ein nicht ganz unbedeutender Beitrag zur Lehre vom Elektromagnetismus zu seyn, daſs ich selbst zuerst durch einen Versuch das zur Erklärung dieser Erscheinung erforderliche Gesetz aufgefunden, später aber, durch eine freundschaftliche Belehrung von G. G. Schmidt erinnert, dasselbe aus dem bekannten Verhalten des Magnetismus abgeleitet und bewiesen habe[1]. Dieses etwas paradox klingende Gesetz heiſst: *Der Pol einer Magnetnadel wird von zwei combinirten, unter sich freundschaftlichen, magnetischen Polen weder angezogen noch abgestoſsen, sondern durch die vereinte Wirkung derselben nach der Seite der verlängerten Richtung des feindlichen Poles hingezogen, vor diesem und dem freundschaftlichen Pole vorübergeführt und vor letzterem hin fortgestoſsen.* Daſs dieses Gesetz aus dem bekannten der Anziehung und Abstoſsung ungleichnamiger und gleichnamiger magnetischer Pole mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft nothwendig folge, ersieht man bald, wenn man nur die Linien b a, c a, in welchen die magnetischen Kräfte abstoſsend und anziehend auf den Pol a wirken, in ihre Componirenden zerlegt, wobei man bald überzeugt wird, daſs der positive Pol a nothwendig nach d getrieben werden muſs. Fig. 126.

1 G. LXXI. 411. Vergl. LXX. 161.

Noch deutlicher ergiebt sich die Nothwendigkeit dieses Erfolges, wenn man die gleichzeitige Wirkung der andern beiden Pole der combinirten Magnete auf den genäherten Pol und die vereinte aller vier Pole auch auf das entgegengesetzte Ende der Nadel mit berücksichtigt; eine genaue Berechnung erhebt aber den aufgestellten Satz über allen Zweifel, indeſs lasse ich diese hier weg, da sie an sich leicht zu finden ist, und ich überhaupt keinen Calcül in diese Untersuchung aufnehmen mag, deren Gegenstand mir noch zu neu scheint, als daſs das Nothwendige von dem minder Nöthigen schon hinlänglich geschieden wäre. Die Berechnung ergiebt dann ferner, bis zu welcher Entfernung von den combinirten Polen mit Rücksicht auf ihren Abstand und ihre eigene Ausdehnung das Gesetz noch gültig ist, indem es bei zu groſser Annäherung keine Anwendung mehr finden kann, wie in der erwähnten Abhandlung ausführlich gezeigt ist[1].

Nach dieser allgemeinen Betrachtung, welche einen, gegen jede auf den Transversalmagnetismus gebauete Theorie sogleich sich aufdringenden, Einwurf ein für allemal beseitigt, will ich dieselben einzeln kurz darzustellen mich bemühen, und dabei bloſs die allein erforderliche Hauptfrage beriichsichtigen, ob und in wie fern sie das elektromagnetische Hauptphänomen, nämlich das Umlaufen des magnetischen Poles um den elektrischen Leiter vollständig erklären, indem jede Theorie allen Forderungen Genüge leistet, wenn man dieses vollständig von ihr nachweisen kann.

1. Schmidt's Theorie vom bipolaren Transversalmagnetismus.

Nach G. G. Schmidt ist der elektrische Leitungsdraht nichts anders, als ein einfacher Transversalmagnet, welcher an seinen beiden Seiten in seiner ganzen Länge an der einen nordpolarischen, an der andern südpolarischen Magnetismus zeigt. Ein

1 Die Nichtbeachtung dieser, von mir erst später angegebenen Bedingung, so wie das Erforderniſs, daſs die Pole der gebrauchten Magnete, mindestens sehr nahe, gleich stark seyn müssen, hat veranlaſst, daſs einige Physiker beim Versuche nicht ganz die erwarteten Resultate erhalten haben. Vergl. Kries bei G. LXXI. 58. Pfaff der Elektrom. S. 270.

solcher muſs demnach in Folge des eben erläuterten Gesetzes eine östliche und westliche Declination der Magnetnadel hervorbringen, wenn er über der Declinationsnadel, beider Axen parallel laufend, gehalten, und dann um 180° um seine Axe gedrehet wird. Von unten auf gleiche Weise genähert und umgedrehet zeigt er die nämlichen Wirkungen. Auffallend ist allerdings die Uebereinstimmung des Verhaltens eines künstlichen Transversalmagnetes mit dem des elektrischen Leiters. Verfertigt man jenen so, wie oben (III. B. 7.) angegeben ist, so erhält man einen Apparat, welcher nach meinen eigenen Erfahrungen Jahre lang die östliche und westliche Abweichung der Magnetnadel deutlich bewirkt, wenn man ihn auf die angegebene Weise über und unter dieselbe hält, und die Aehnlichkeit seiner Wirkungen mit denen eines Leiters der galvanischen Elektricität rücksichtlich dieser beiden Erscheinungen ist so sprechend, daſs man im Augenblicke der Beobachtung kaum umhin kann, dieser Theorie anzuhängen. Noch mehr aber: G. G. Schmidt umwickelte einen Streifen dünnen Messingblechs, etwa 1 F. lang und 2 Lin. breit, mit Stahldraht, machte diesen auf die angegebene Weise zu einem Transversalmagnete, wickelte ihn dann um einen hohlen Cylinder von dickem Kartenpapier schraubenförmig, und erhielt hierdurch einen dem schraubenförmig gewundenen elektrischen Leiter vollkommen nachgebildeten bipolaren Magnet. Auf gleiche Weise bildete er mit demselben die elektromagnetische Spiralscheibe nach[1].

Die hier in ihren wesentlichsten Elementen mitgetheilte Theorie empfiehlt sich ausnehmend durch ihre groſse Einfachheit und innere Uebereinstimmung mit anderweitigen Naturerscheinungen. Ueberall, wo der Magnetismus sonst hervortritt, zeigt sich derselbe bipolar, und man dürfte daher nur annehmen, daſs die Elektricität den Leitungsdraht derselben auf eine gleiche Weise temporär magnetisch machte, als sie dem Stahle unter geeigneten Umständen bleibenden Magnetismus mittheilt, um die ganze Reihe der elektromagnetischen Erscheinungen den bekannten magnetischen anzufügen. Leider aber reicht die Hypothese nicht hin, um das elektromagnetische Hauptphänomen vollständig zu erklären. Man hat gegen dieselbe eingewandt, daſs am elektrischen Leitungsdrahte keine Indifferenz-

1 G. LXX. 229. LXXI. 387. LXXII. 1.

linien anzutreffen seyen, wie am künstlichen Transversalmagnete, und dafs das Eisenfeilicht sich rund um den ersteren anlege, an letzterem aber nur in den Richtungslinien der beiden Pole festhänge[1]. Allein beide Argumente sind ungenügend. Beim elektrischen Leiter berühren sich beide entgegengesetzte Pole in seiner Axe, beim künstlichen Transversalmagnete dagegen befinden sie sich in mefsbarer Entfernung von derselben, jener kann daher keine Indifferenzlinien zeigen, wie dieser, und das Eisenfeilicht mufs sich daher auf seiner ganzen Oberfläche anlegen. Der elektromagnetische Draht nämlich, woran dieses letztere Phänomen beobachtet wird, ist entweder dünn oder dick. Im ersten Falle liegen die beiden Pole einander so nahe, dafs keine Stelle von demselben unbedeckt bleiben kann, im zweiten Falle aber wird überhaupt kein Anhängen des Eisenfeilicht beobachtet werden, wenn der erregte Magnetismus nicht bedeutend stark ist, und dann kann gleichfalls keine Stelle unbedeckt bleiben. Schwerlich wird dieses Phänomen nämlich schon an dickeren Drähten, als solchen beobachtet seyn, welche zwei Lin. im Durchmesser hatten, und diese sind noch immer zu dünn, als dafs bei der Anziehung von zwei magnetischpolaren Linien eine Stelle unbedeckt bleiben sollte. Es scheint mir in dieser Erscheinung vielmehr ein Beweis *für* die Theorie der transversal polaren Linien zu liegen; denn wenn man zwei Magnetstäbe mit ihren freundschaftlichen Polen neben einander legt, und auf ihre Vereinigungslinie Eisenfeilicht streuet, sie dann 0,5 bis 1 Lin. von einander entfernt, so bietet das Eisenfeilicht gerade solche streifige Gestalten dar, als ein stark magnetischer Leitungsdraht sie zeigt. Es wäre allerdings der Mühe werth, mit Hülfe der riesenmäfsig grofsen Apparate, welche manchen Instituten zu Gebote stehen, diese Versuche in einem gröfseren Mafsstabe zu wiederholen, weil hierdurch vielleicht die endliche Entscheidung der Streitfrage herbeigeführt werden könnte. Ich selbst habe zu diesem Ende eine Glasröhre von 1 Z. Durchmesser mit Stanniol so überklebt, dafs die Enden desselben etwas mehr als einen Zoll über die Enden der Glasröhre hinausragten. In die Glasröhre waren an beiden Seiten durchbohrte Körke gesteckt, in diese die Enden von zwei 1,5 Lin. im Durchmesser haltenden Messingdrähten, um welche die Rän-

---

1 Pfaff: der Elektromagnetismus, u. s. w. p. 278.

der des Stanniols herumgelegt, mit einem schmalen Streifen Stanniol umwunden, und so auf den Drähten festgelöthet wurden. Allein der oben (II. A. 6.) beschriebene Apparat war zu schwach, oder vielmehr die Bedingungen waren zu ungünstig, als dafs er die Anziehung des Eisenfeilicht auf der Oberfläche dieses hohlen Metallcylinders bewirkt haben sollte, obgleich ich nicht zweifle, dafs bei SINGER's und andern ähnlichen Batterieen noch gröfsere Cylinder angewandt werden könnten.

Inzwischen reicht diese, in so mancher Hinsicht empfehlenswerthe Hypothese nicht hin, um die wichtigsten elektromagnetischen Phänomene zu erklären, und zwar stehen ihr folgende Argumente entgegen.

1. *Sie läfst das ursprüngliche elektromagnetische Hauptphänomen unerklärt.* Hält man einen künstlichen Transversalmagnet *über* eine Declinationsnadel, beider Axen in einer verticalen Ebene liegend, so ist allerdings die östliche oder westliche Abweichung der Nadel derjenigen völlig gleich, welche sie unter dem galvanischen Verbindungsdrahte zeigt, hält man ihn aber, ohne Umdrehung um seine Axe *unter* die Nadel, so ist die Abweichung derselben mit der vorigen identisch, anstatt ihr entgegengesetzt zu seyn, wie beim elektrischen Leiter. Es folgt dieses so ziemlich nothwendig aus der Erzeugung des Transversalmagnetes durch die Einwirkung der unteren Seite eines elektrischen Leiters, welcher über ihm hingeführt ist, wonach er also nur die Wirkung dieser *einen* Seite erhalten kann. Auf gleiche Weise wirkt der Transversalmagnet östlich oder westlich von der Nadel, mit dieser in einer horizontalen Ebene gehalten, nur anziehend auf den einen und zugleich abstofsend auf den andern Pol der Declinationsnadel, ist dagegen indifferent gegen die Inclinationsnadel, statt dafs der galvanische Verbindungsdraht vielmehr indifferent gegen jene ist, diese dagegen in einer verticalen Ebene bewegt. Hierbei wird jedoch vorausgesetzt, dafs der künstliche Transversalmagnet keine Drehung um seine Axe erhält, sondern diejenige Lage behält, in welcher er über der Declinationsnadel gehalten eine Abweichung derselben bewirkte.

2. Auch das Umlaufen des Poles um den lothrechten galvanischen Leiter ist aus dieser Hypothese nicht erklärlich. Wie man sich nämlich die Lage der beiden polaren Linien am verticalen Leiter auch denken mag, so mufs nothwendig die in

einer horizontalen Ebene um ihn bewegliche Nadel zwei Maxima und zwei Nullpuncte der sie bewegenden Kraft finden, erstere da, wo ihre verlängerte Axe auf die Ebene beider Linien senkrecht gerichtet ist, letztere da, wo sie mit derselben zusammenfällt. Rücksichtlich der ersteren muſs die Abweichung der genäherten Magnetnadelspitze auf beiden Seiten des elektrischen Leiters entgegengesetzt seyn, was der Erfahrung widerstreitet; in Beziehung auf die Indifferenzpuncte könnte man allerdings sagen, daſs diese geometrischen Puncte in der Wirklichkeit durch die physische Nadelspitze nicht eingenommen werden könnten. Allein es wäre doch in der That auffallend, wenn dieselben bei allen zahlreichen Versuchen niemals zum Vorschein gekommen seyn sollten, und auf allen Fall bliebe die überall im ganzen Umfange des lothrechten Leiters ganz gleiche Ablenkung der Nadelspitze durchaus unerklärlich.

3. Das Verhalten zweier elektromagnetischer Leitungsdrähte gegen einander stimmt mit der Annahme des bipolaren Transversalmagnetismus nicht überein. Wenn nämlich zwei solche Drähte bei gleichgerichteter Strömung über einander liegen, so müſsten sie sich in *verticaler Richtung* abstoſsen, statt daſs sie in *parallelen horizontalen Ebenen* sich einander zu nähern suchen und dann in *verticaler Richtung* angezogen werden. Bei ungleicher Richtung der Strömungen müſsten sie sich dagegen in *verticaler Richtung* anziehen, statt daſs sie in dieser abgestoſsen werden, und sich in *parallelen horizontalen Ebenen* von einander zu entfernen streben. Für die horizontale Lage beider neben einander stimmt die Hypothese mehr mit der Erfahrung überein.

4. Genau genommen läſst diese Hypothese das Verhalten der spiralförmig gewundenen Scheibe unerklärt. Wäre nämlich jeder Draht ein bipolarer Transversalmagnet, so müſste diese Scheibe einen bipolaren Cylinder von nördlichem und südlichem Magnetismus bilden, dessen Stärke an jeder Stelle eines Querschnittes desselben völlig gleich wäre, statt daſs die Mitte beider Seiten die gröſste Intensität der magnetischen Kraft zeigt.

5. Endlich beantwortet diese Hypothese auch *die* Frage nicht genügend und mindestens nicht direct, warum der elektrische Leitungsdraht bloſs über oder unter den schraubenförmig gewundenen Stahldrähten hingeführt diese letzteren bipolar magnetisch macht, und nicht auch dann, wenn er mitten

durch die Axe eines solchen Cylinders geleitet wird, welches, so viel ich weiſs, noch niemanden gelungen ist. Ich selbst habe, auſser manchen Versuchen mit engeren Windungen, eine Glasröhre von einem Zoll im Durchmesser mit Stahldraht umwunden, vermittelst zweier durchbohrter Körke in den Enden derselben eine engere Glasröhre in dieselbe geschoben, und in dieser einen Kupferdraht in der Axe der ersteren ausgespannt, durch welche 5 Batteriefunken geleitet wurden, deren jeder einen 1,5 F. langen stählernen Clavierdraht von No. 12 zu schmelzen vermochte, ohne daſs dadurch Magnetismus im Stahldrahte erzeugt wurde. Wäre aber der elektrische Leitungsdraht selbst ein Transversalmagnet, so müſste er auf diese Weise eben so gut Transversalmagnetismus erzeugen, als wenn er über oder unter den Stahldrahtwindungen hingeführt wird, und eigentlich noch wohl stärker.

2. Theorie des tetrapolaren Transversalmagnetismus.

Berzelius[1] äuſserte zuerst beiläufig, der elektrische Strom scheine ihm in einem schmalen Streifen Stanniol an jeder Seite desselben zwei über einander liegende ungleiche magnetische Pole zu erzeugen, und auch H. Davy[2] hegte anfänglich diese Meinung. Nicht sowohl hierdurch bewogen, als vielmehr durch die Beobachtung des oben (III. C. 2.) beschriebenen beweglichen Apparates, bei welchem unter andern der lothrecht herabgehende elektrische Leiter durch einen, in einer horizontalen Ebene von der einen Seite genäherten Magnetpol angezogen, von der andern abgestoſsen wird, und wobei die gegenüberstehende Seite des elektrischen Leiters sich gerade entgegengesetzt verhält, wurde v. Althaus[3] veranlaſst, in die Peripherie des elektromagnetischen Leiters vier polare Puncte zu setzen, und zwar zwei nordpolare einander diametral gegenüber dahin, wo der Draht Abstoſsung gegen den Nordpol des Magnetes zeigte, und zwei südpolare gleichfalls einander diametral gegenüber dahin, wo der Südpol zurückgestoſsen wurde. Von Althaus,

1 Ann. Chim. Phys. XVI. 117. Schweigg. XXXI. 100.

2 Journ. de Phys. XCIV. 77. Vergl. G. LXXI. 235.

3 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. Heidelberg, 1821. 8.

in der Kunst des Experimentirens durch seine Bekanntschaft mit dem zu frühe verstorbenen Boeckmann trefflich geübt, erklärte aus dieser Hypothese sehr scharfsinnig die Einwirkung des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel, die Wirkung der Spiralscheiben, der schraubenförmig gewundenen Drähte, die Bewegungen eines gebogenen frei schwebenden Leitungsdrahtes durch einen genäherten Magnet, insbesondere aber die damals eben bekannt gewordene Erscheinung der Anziehung zweier beweglicher elektrischer Leiter durch einander bei gleichgerichteter Strömung, und der Abstofsung bei entgegengesetzter. Es mufste nothwendig auffallen, dafs dieses Phänomen, dessen Erklärung damals Ampère wegen des darin liegenden Widerspruches gegen die bekannten elektrischen Gesetze so sehr beschäftigte, aus der Hypothese der tetrapolaren magnetischen Linien unmittelbar und nothwendig folge, wie schon der Augenschein lehrt, wenn man nur die Durchschnitte von zwei solchen Leitern a und b über einander zeichnet.

Fig. 127.

Als ich selbst diese Theorie genau und sorgfältig prüfte, war es mir auffallend, dafs sich nirgend am Umfange des elektromagnetischen Leiters eine Anziehung und Abstofsung der beiden Pole auch der feinsten Nadeln mit Sicherheit zeigen wollte, obgleich zuweilen ein Festhängen der Magnetnadelspitze an einigen Stellen desselben zum Vorschein zu kommen schien. Aus diesem Grunde glaubte ich diese Hypothese verlassen zu müssen, als ich das oben erwähnte Gesetz auffand, wodurch allerdings eine Hauptschwierigkeit gehoben wurde, indem hieraus hervorging, warum keine einzige der polaren Linien, ihres wirklichen Daseyns ungeachtet, durch die Spitze einer Magnetnadel sichtbar werden konnte. Hiernach suchte ich also die elektromagnetischen Erscheinungen dadurch zu erklären, dafs ich annahm, jeder elektromagnetische Leiter sey ein tetrapolarer Transversalmagnet, dessen Querschnitt a einen Kreis mit vier Polen bilde, und zwar, bei einer elektrischen Strömung von N. nach S., unten östlich und oben westlich einen Nordpol, unten westlich und oben östlich einen Südpol[1]. Diese Hypothese empfiehlt sich hauptsächlich dadurch, dafs sie das entge-

Fig. 128.

---

1 G. LXX. 141. LXXII. 20. In den dortigen Figuren findet sich eine Verwechslung der elektrischen Strömung, wie Pfaff richtig erinnert. S. der Elektrom. S. 266.

gengesetzte Verhalten der Magnetnadel über und unter, desgleichen zu beiden Seiten des elektrischen Leiters, so wie auch die wechselseitigen Einwirkungen zweier solcher elektromagnetischer Drähte auf einander recht gut darstellt, endlich auch bei der Annahme von zwei entgegengesetzten elektrischen Strömungen einer jeden derselben ähnliche, aber entgegengesetzte Wirkungen rücksichtlich der Hervorrufung des Magnetismus beilegt; allein vor einer genauen Prüfung besteht auch diese nicht.

Einige Gelehrte, namentlich Raschig[1], Kries[2], Gilbert[3] u. a. haben gleich anfangs Einwendungen gegen dieselbe gemacht, deren einige sich zwar beseitigen lassen, z. B. dafs man vermittelst einer Zusammensetzung von vier Stahlmagneten den Querschnitt eines elektromagnetischen Drahtes nicht künstlich nachbilden kann (wobei aber die Pole nicht vom Mittelpuncte ausgehen), ferner dafs Eisenfeilicht sich im ganzen Umfange des elektrischen Leiters anlegt (wovon die Nothwendigkeit übrigens schon oben bei der Prüfung des bipolaren Transversalmagnetismus nachgewiesen ist), endlich dafs die stets sich gleich bleibenden Abweichungen der Magnetnadel noch in so grofsen Entfernungen vom lothrechten elektromagnetischen Leiter statt finden (indefs mufs die gleichzeitige Einwirkung aller vier polaren Linien sich eben so weit hin erstrecken, als die magnetische Kraft überhaupt reicht, wonach also die einmal statt findende Wirkung in jeder Entfernung *der Art nach* die nämliche bleibt, bis sie abnehmend überhaupt verschwindet). Folgende Argumente scheinen mir aber nicht füglich einer Beseitigung fähig zu seyn.

1. Die Theorie ist in einem Hauptpuncte unvollständig. Zugegeben nämlich, dafs das Umlaufen eines Magnetpoles um den ganzen Umfang des elektrischen Leiters, selbst auch mit gleicher Stärke, durch Benutzung des oben angegebenen Gesetzes erklärt werden könnte, so ist kein genügender Grund beigebracht, warum diese Bewegung stets nur nach *einer* Richtung erfolgt, indem sie eben so gut auch nach der entgegengesetzten erfolgen kann. Um sich hiervon zu überzeugen, darf man nur die Nadel in die Richtung der zwei gleichen Pole brin-

1 G. LXXI. 89.
2 Ebend. p. 58.
3 Ebend. p. 64.

gen, wobei sich bald ergiebt, dafs sie dann eben so gut nach der einen als nach der andern Seite abweichen könnte. Es liefse sich zwar diesem Argumente mit einer nicht schwierigen Voraussetzung begegnen, allein man mufs nicht stets zu neuen Hypothesen seine Zuflucht nehmen, um die alten zu retten.

2. SEEBECK's und DAVY's oben (III. B. 5.) angegebene Versuche über die Magnetisirung der Stahlnadeln um die ganze Oberfläche des elektromagnetischen Leitungsdrahtes so, dafs der Nordpol und Südpol derselben stets nach einer Seite hin liegt, stehen mit dieser Hypothese im Widerspruche [1].

3. Die Wirkungen der schrauben- und spiral-förmigen Windungen, so bestimmt, mindestens die ersteren, aus der Hypothese des bipolaren Transversalmagnetismus folgen, sind mit der Theorie des tetrapolaren Transversalmagnetismus entweder völlig unverträglich, oder auf allen Fall nicht gut vereinbar. Zwar hat VON ALTHAUS versucht, diese Erscheinung zu erklären, indem er annimmt, dafs bei einem schraubenförmig umschlungenen Cylinder ab die nordpolaren Magnetismen $\alpha, \alpha, \alpha \ldots . \alpha', \alpha', \alpha' \ldots$ sich nach a hin unten vereinigen, wodurch dann ein Nordpol in der Richtung $\alpha\beta$ entstehen müsse, nach Aufsen aber zerstreuen; dafs dagegen die südpolaren Magnetismen $\beta, \beta, \beta, \ldots . . \beta', \beta', \beta', \ldots .$ sich nach der entgegengesetzten Seite nach b hin vereinigen, wodurch dann in β ein Südpol entstände, nach Aufsen aber auch diese sich zerstreuen. Hiernach müfste dann von b aus nach Aufsen sich nordpolarer, und von a aus gleichfalls nach Aufsen südpolarer Magnetismus zeigen, welchen VON ALTHAUS auch wahrgenommen haben will, obgleich dieses weder mit meinen eigenen Beobachtungen, noch auch namentlich mit denen von G. G. SCHMIDT [2] übereinstimmt.

Fig. 129.

4. Auch nach dieser Hypothese ist nicht erklärlich, warum ein mitten durch ein Stahldrahtgewinde gehender elektrischer Flaschenschlag keinen Magnetismus erzeugt, indem hierdurch nothwendig auf gleiche Weise ein tetrapolarer Magnet entstehen müfste, als nach der Schmidt'schen Theorie ein bipolarer.

5. Endlich könnte man der Theorie noch einen Mangel an innerer Bündigkeit entgegensetzen, indem die durch sie erklärten elektromagnetischen Erscheinungen eben so gut auch dann

1 Vergl. Pfaff: der Elektromagnetismus. S. 267.

2 G. LXXII. 3.

folgen, wenn man 6, 8.... überhaupt 2 n polare Linien am elektromagnetischen Leiter annimmt.

3. Prechtl's Theorie.

Da es hier nicht darauf ankommt, die Vorstellungen PRECHTL's von dem Wesen des Magnetismus und der Elektricität überhaupt zu erörtern, und die Meinung desselben von der Identität beider ohnehin oben im Wesentlichen schon geprüft ist, hier dagegen zunächst nur diejenige Theorie zur Untersuchung kommen kann, woraus derselbe die Wirkungen des elektromagnetischen Leiters erklärt, so läfst sich dieses aus seinen Abhandlungen[1] hierüber mit wenigen Worten herausheben. Jeder elektromagnetische Leiter ist nach ihm ein Transversalmagnet, dessen polare Linien der Zahl seiner Seiten correspondiren. Ueber den Fall, dafs dieser Leiter aus einem dreiseitigen Prisma bestände, finde ich nichts besonders erwähnt, die übrigen Formen aber, deren Querschnitte reguläre Figuren bilden, sind sämmtlich berücksichtigt. Ist demnach der Leiter der Elektricität ein viereckiger Stab, so drückt die Zeichnung eines Querschnittes desselben sowohl die Lage der polaren Linien als auch die Richtung der Magnetnadel um denselben aus[2]. Eben dieses ist der Fall für ein sechsseitiges Prisma, bei welchem also die magnetischen Richtungen je zweier an einander liegender Seiten entgegengesetzt seyn sollen. Minder nicht gilt dieses für Vielecke von gleicher Seitenzahl; ist aber die letztere ungleich, so stellt sich in der Magnetisirung die Gleichheit dadurch her, dafs zwei an einander liegende Seiten sich in der nämlichen Richtung magnetisiren, denn die Gleichheit der Seiten hat hier keinen Einflufs. Nimmt man zum Schliefsungsdrahte z. B. ein zwölfseitiges Prisma von unendlich kleinem Durchmesser, oder was dasselbe ist, ein Prisma von endlichem Durchmesser und unendlich vielen Seitenflächen, d. h. einen Cylinder, so liegen hier die einzelnen Polaritäten sehr nahe an einander, und es vereinigt sich also auf eine Magnetnadel von endlicher Länge die Gesammtwirkung aller der Polaritäten, welche über dem Durchmesser desjenigen Quer-

Fig. 130.

Fig. 131.

Fig. 132.

1 G. LXVII. 259. LXVIII. 187. 203. Schweigg. Journ. XXXVI. 399.

2 Dafs die letztere unrichtig sey, eben wie bei der nächstfolgenden Figur, möge hier nur beiläufig bemerkt werden.

schnittes, mit dem die Magnetnadel parallel steht, befindlich sind. Nur auf eine unendlich kleine Magnetnadel würde die Elementarwirkung, wie beim Vielecke erfolgen.

Bei einem Schliefsungsdrahte, der ein Cylinder oder ein viereckiges Prisma ist, dessen Durchmesser gegen die Länge der Nadel, auf welche er wirkt, verschwindet, gehen also die magnetischen Polaritäten scheinbar nach einer und derselben Richtung, — scheinbar deswegen, weil diese Wirkung nicht die den einzelnen Seiten eines Vielecks zukommende, sondern die Gesammt-Wirkung derselben ist.

Gegen diese Theorie scheint mir einzuwenden, dafs sie unklar und in sich selbst nicht consequent ist. Entweder sind nämlich die Richtungen der Magnetismen bei den verschiedengestalteten Leitern in der Wirklichkeit genau so, wie sie in den Zeichnungen ausgedrückt sind, so widerspricht dieses der Erfahrung, indem bekanntlich die Magnetnadel sich um runde und vierseitige Leiter, deren Durchmesser gegen den ihrigen keineswegs verschwindend sind, ganz auf gleiche Weise bewegt. Soll aber die Darstellung der Wirkungen vier- und vielseitiger Leiter blofs von solchen gelten, deren Durchmesser verschwindend sind, so mufs nachgewiesen werden, auf welche Weise aus diesen diejenigen mit mefsbarem Durchmesser entstehen, um welche die Nadelspitze sich im Kreise bewegt. In dem Querschnitte des runden Leiters sind zwar, um dieses Phänomen zu erklären, die Richtungen der Magnetismen alle nach einer Seite hin gezeichnet, es ist aber nicht nachgewiesen, warum die dazwischen liegenden, diesen entgegengesetzten, fehlen. Will man hierauf erwiedern, dafs sie einander zu nahe liegen, so bleibt die Frage unbeantwortet, warum die andern, gleichfalls entgegengesetzten, Pole weiter von einander abstehen. Ist endlich die Zahl der ungleichnamigen Pole wirklich unendlich, so fallen sie überall zusammen, müssen sich neutralisiren, und es ist gar kein Effect möglich.

Fig. 132.

So lange diese, das Ganze treffenden Einwürfe nicht beseitigt sind, scheint es mir überflüssig, die Theorie an einzelnen Erscheinungen zu prüfen. Prechtl hat zwar zu zeigen gesucht, in wie fern aus der Lage der ungleichnamigen Pole in den Transversalmagneten das Umlaufen der Nadelspitze um den

galvanischen Leiter folge[1], allein hierdurch werden die eben nachgewiesenen Gegengründe keineswegs beseitigt, und zunächst trifft jede Hypothese dieser Art der Einwurf, dafs sie keinen nothwendigen Grund nachzuweisen vermag, warum das Umkreisen stets nur nach ein und derselben Seite hin statt findet.

4. Seebeck's Theorie.

Seebeck hat in seiner mehrmals erwähnten Abhandlung[2] die Lehre vom Elektromagnetismus gleich nach der Auffindung des ersten Hauptphänomen's durch eine grofse Zahl mannigfaltig abgeänderter, und sehr genauer Versuche fast zu demjenigen Grade der Ausbildung befördert, welchen sie bis jetzt überhaupt erhalten hat, und dabei zugleich eine Theorie derselben aufgestellt, welcher er auch nachher treu geblieben zu seyn scheint. Hiernach „giebt es am ganzen schliefsenden Drahte nirgend feste Pole oder einzelne Stellen, an welchen entweder positiver oder negativer Magnetismus im Uebermafse vorhanden wäre, nirgend einen feststehenden magnetischen Kern. Ein polarer magnetischer Gegensatz zweier entgegengesetzter Puncte am Schliefsungsdrahte, oder in dessen Atmosphäre ist also nur dadurch begründet, dafs die Richtung des durch die Action der Säule erregten Magnetismus entgegengesetzt, und +M. nach der einen, — M nach der andern Seite gerichtet ist. Jeder Punct in der cylindrischen magnetischen Atmosphäre, welche den Stab erfüllt und umgiebt, ist nordpolar und südpolar zugleich, nach der einen Seite zu nordpolar, nach der andern südpolar, so dafs also auch alle, von der Axe des Stabes ausgehende Radien in der senkrecht auf den Längendurchmesser des schliessenden Drahtes stehenden Ebene, nach der einen Seite zu als nordpolar, nach der andern als südpolar anzusehen sind, und zwar in gleichmäfsig wechselnder Folge, indem der nordpolare Magnetismus des einen Radius dem südpolaren des andern zugekehrt ist."

Die hier in ihren wesentlichen Theilen mit den eigenen Worten des berühmten Gelehrten wiedergegebene Theorie ist durchaus klar und bestimmt. Weit weniger scheint mir dieses

---

1 Kastner's Archiv II. 155.

2 Berlin. Denksch. 1820—21. S. 335 ff.

bei denjenigen weiteren Aeufserungen der Fall zu seyn, worin derselbe den Unterschied zwischen einem Stahlmagnete und dem elektromagnetischen Drahte zu erläutern, und die Vertheilung des Magnetismus im Stahle nebst der hieraus folgenden Wirkungsart der Stahlmagnete aufzuklären sucht. Das Letztere gehört an sich nicht hierher, die Hauptäufserung über das Erstere aber theile ich gleichfalls um so lieber mit Seebeck's eigenen Worten mit, weil sie mir selbst nicht völlig deutlich geworden ist, übrigens aber in der Hauptsache nichts abzuändern scheint. „Der Magnetismus im Eisen und Stahle unterscheidet sich also darin vom Magnetismus in der Galvanischen Kette, dafs die den diametral einander gegenüberliegenden Puncten des Stahlmagnetes zugehörenden inneren Theile der magnetischen Atmosphäre in einander greifen, und in dem Metalle so innig verbunden sind, dafs sie auf keine Weise von einander getrennt werden können, indem die Axe der ganzen, den Stab erfüllenden und umgebenden magnetischen Atmosphäre, als ein mitten zwischen den Polen an der Oberfläche des massiven cylindrischen Magnetstabes liegender Kreis angenommen werden mufs. In der galvanischen Kette dagegen können nicht nur die einander diametral gegenüber liegenden Theile der einfachen magnetischen Atmosphäre der Leiter bis zu jedem beliebigen Abstande von einander entfernt werden, wodurch sie um so vollkommener in dieser, vor der Entdeckung Oersted's gänzlich unbekannten, einfachen Form hervortreten, sondern es wird sogar aller Magnetismus der Galvanischen Kette aufgehoben, wenn die einander diametral entgegengesetzten Theile der magnetischen Atmosphäre bei völliger Berührung der Metalle auf gleiche Art in einander greifen, als in den Stahlmagneten."

Verstehe ich die Ausdrücke recht, so sind die entgegengesetzten Magnetismen im Stahle durch einander gebunden, so dafs die Polarität nur an den Enden der Stäbe in gröfster Stärke hervortritt und in der Mitte bis zur Indifferenz verschwindet, statt dafs dieselben am elektromagnetischen Leiter an allen Puncten zum Vorschein kommen, dann aber verschwinden und zur Bildung eines gleichfalls bipolaren Magnetes sich vereinigen, wenn die Drähte mit einander in Berührung kommen.

Dafs auch diese Theorie den Anforderungen an eine solche nicht genüge, läfst sich bald zeigen, indem sie in sich entweder unmöglich oder unbestimmt ist, und bei erhaltener Bestim-

mung die Erscheinungen selbst gar nicht erklärt. Nach den Ausdrücken SEEBECK's ist die den elektromagnetischen Cylinder bildende Zahl der Radien mit entgegenstehenden Magnetismen an ihren Seiten unendlich. Wäre dieses im strengsten Sinne der Fall, so würde gar keine Wirkung möglich seyn, indem jeder Punct in einer auf den Schlieſsungsdraht senkrechten Ebene zugleich nordpolarisch und südpolarisch seyn müſste, deren Wirkungen auf die Spitze einer Magnetnadel von meſsbar räumlichem Inhalte sich um so sicherer aufheben würden, als der Thesis nach auf jeden räumlichen Punct in der Spitze der Magnetnadel eine unendliche Menge nordpolarer und südpolarer Puncte im magnetischen Cylinder um den Leitungsdraht einwirken müſsten. Wir wollen indeſs annehmen, die Zahl der nord- und süd-polaren Puncte sey eine unendliche, so giebt es im Umfange des elektrischen Leiters für eine mit ihrer Axe lothrecht auf die Axe des Leiters gerichtete Magnetnadel so viele Puncte, in welchen dieselbe auf einen gleichnamigen Pol senkrecht gerichtet ist, dessen seitwärts bewegende Kraft also verschwindet, zugleich aber sich in gleichem Abstande von zwei ungleichnamigen Polen befindet, deren Wirkungen sich sonach gleichfalls aufheben, als wie viele Paare von Polen den Leiter umgeben. Obgleich daher mit der Zahl der Paare dieser Pole die Menge der Lagen wächst, in denen die Nadelspitze zwischen zwei ungleichen Polen befindlich nach den Gesetzen der magnetischen Wirksamkeit eine Abweichung erhalten muſs, so wächst hiermit auch zugleich die Zahl der Indifferenzpuncte, und man kommt also mit zwei polaren Linien oder mit vieren eben so weit, als mit einer beliebigen endlichen Zahl Paare ungleichnamig magnetischer Puncte, indem auch bei diesen endlich die Richtung des Umlaufens der Nadelspitze um den elektrischen Leiter unbestimmt bleibt. Es finden somit gegen diese Theorie die nämlichen Einwendungen statt, welche mich bewogen haben, die von mir selbst früher vertheidigte Theorie aufzugeben.

5. Pohl's Theorie der Circularpolarität.

G. F. POHL suchte anfangs[1] die elektromagnetischen Erscheinungen am Schlieſsungsdrahte der Volta'schen Säule da-

1 G. LXIX. 191.

durch zu erklären, daſs er jede Querzone eines solchen Leiters für eine in sich selbst zurücklaufende Magnetnadel hielt. Später[1] ging derselbe ganz zu Seebeck's Ansicht über, indem er den zuerst aufgestellten Satz dahin modificirte, die beiden genäherten Pole der in einen Kreis zusammengebogenen Magnetnadel gingen durch ihre unmittelbare Berührung in einander über, und verbreiteten sich als zwei neben einander liegende Pole über den ganzen Umfang der kreisförmig zusammengebogenen Nadel (mit Verschwindung des sonst nothwendigen Indifferenzpunctes in ihrer Mitte). Hiernach soll dann *jeder Punct des Schlieſsungsdrahtes als Nord- und Süd-Pol zugleich wirken, nur nach tangential-entgegengesetzten und durch die Verbindungs-Ordnung bestimmten Richtungen.*

In dieser Modification hört das Ganze aber auf eine Theorie zu seyn, indem bloſs das ursprüngliche Oersted'sche Phänomen mit einem andern Ausdrucke bezeichnet wird, und anstatt zu sagen, die Spitze der Magnetnadel läuft um den elektromagnetischen Leiter im Kreise umher, (welches der Natur der Sache nach nothwendig durch Tangential-Kräfte bewirkt werden muſs) sagt Pohl: sie wird von jedem Puncte desselben durch eine von diesem ausgehende Tangentialkraft herumgetrieben. Nach Seebeck liegt in jedem Puncte nach der einen Seite nordpolarer, nach der andern südpolarer Magnetismus, nach Pohl aber wirkt jeder einzelne Punct nach der einen Seite nordpolarisch, nach der andern südpolarisch magnetisch abstoſsend. Die von ihm in den Figuren zur Erläuterung gezeichneten Magnetnadeln können daher keinen wirklichen Abstand der Pole, wäre er auch nur verschwindend klein, andeuten, sondern bloſs die Richtung der Tangentialkräfte bezeichnen. Daſs aber irgend ein materieller Punct zugleich ein nordpolarer und ein südpolarer Magnet *seyn* sollte, also ein Gegebenes und auch sein Entgegengesetztes, ein + und zugleich ein —, ist undenkbar, mithin kann einem jeden Puncte nur eine nach einer Seite wirkende nordpolar magnetische Kraft, und nach der andern eine südpolare beigelegt werden, wodurch nach dem Begriff des Entgegengesetzten der Punct selbst = 0 seyn würde[2]. Will man

1 G. LXXI. 47. Vergl. LXXIII. 259.

2 Pohl giebt dieses selbst zu, indem er bei G. LXXIV. 391. sagt: „Einen N. u. S. Pol giebt es hier also gar nicht, oder man

es nun auch nicht geradezu für undenkbar halten, daſs von dem eigentlichen 0 aus (einem geometrischen, nicht einem räumlichen Puncte) ohne ausgedehntes, materielles Substratum, zwei entgegengesetzte Kräfte nach entgegengesetzten Seiten hin wirkend ausgehen sollen, so bietet wenigstens die Natur kein Analogon dar. Es läſst sich hierfür nicht geltend machen, daſs nach Coulomb jedes kleinste Stück eines Magnetes wieder ein Magnet mit zwei Polen sey, denn mit solchen durch Versuche erhaltenen Stücken sind wir noch weit von einem Stahlatome, geschweige denn von einem geometrischen Puncte entfernt. Nur dann also, wenn Pohl räumliche magnetische Pole, und zwar entgegengesetzte, nach der einen Seite nordpolarische, nach der andern südpolarische in der Oberfläche des galvanischen Leiters annimmt, giebt er eine Theorie, welche der von Seebeck aufgestellten gleich ist, und daher gleichen Gegengründen unterliegt.

Insofern übrigens Pohl das elektromagnetische Hauptphänomen bloſs genau bezeichnet hat, ohne jedoch durch eine Theorie die Aetiologie desselben nachzuweisen, und wenn man sonach seine Bezeichnungen und Figuren als ein Mittel der Versinnlichung betrachtet, so muſs man zugestehen, daſs er hiernach die wesentlichsten, aus demselben folgenden Erscheinungen mit groſser Consequenz erklärt hat. Letzteres ist in der angegebenen Abhandlung nur kurz, ausführlicher aber in den

---

müſste uneigentlicher Weise jeden Punct als N. u. S. Pol zugleich ansehen, und mithin deren unendlich viele annehmen, welches physicalisch ganz in demselben widerspruchslosen Sinne zu fassen ist, in welchem man in der Mathematik den Kreis als ein Polygon von unendlich vielen geraden Seiten betrachtet. Man wird indeſs zugestehen, daſs durch das letztere Hülfsmittel nur die Vorstellung eines Kreises selbst erleichtert, und diese sinnlich darstellbarer wird. Strenge genommen ist aber kein Theil des Kreises, auch nicht der kleinste endliche eine gerade Linie, und mit derselben Strenge ist nach Pohl kein Punct des elektrischen Leiters weder ein N. noch ein S. Pol, auch kann weder nord - noch südpolarer Magnetismus an irgend einen materiellen Punct gebunden seyn, indem dieser sonst hierdurch ein solcher Pol werden müſste, mithin bleibt an und um den Leiter bloſs die, die Magnetnadel bewegende, Kraft, deren Wesen und Ursprung nicht weiter erklärt, auf welche vielmehr bloſs aus der Beobachtung geschlossen wird. Insofern glaube ich es also rechtfertigen zu können, daſs dieses keine Theorie, sondern bloſs eine Construction der Erscheinungen ist.

Demonstrationen geschehen[1], vermittelst deren die Bewegung der beweglichen Leiter durch den Einfluſs des Erdmagnetismus nachgewiesen wird, und welche in sofern ein höchst schätzbarer Beitrag zur Lehre des Elektromagnetismus bleiben, als in ihnen mit geometrischer Schärfe dargethan wird, daſs und auf welche Weise alle diese Bewegungen aus dem einfachen elektromagnetischen Fundamentalversuche folgen.

6. Theorie des diagonaloiden Magnetismus.

Gleich nach der Entdeckung des Elektromagnetismus beförderte Erman nicht bloſs die Verbreitung der Kenntniss desselben, sondern vermehrte auch die damals bekannten Thatsachen und Apparate auf eine sinnreiche Weise[2]. Weil man aber eine Reihe zusammenhängender Erscheinungen nicht gut aufzufassen vermag, ohne sie in einen inneren Zusammenhang unter sich und mit andern bekannten Phänomenen zu bringen, so war es natürlich, daſs auch dieser scharfsinnige Gelehrte eine Theorie entwarf, nach welcher sich die damals bekannten Thatsachen erklären lieſsen. In Gemäſsheit der Hypothese von zwei Elektricitäten, deren jede an dem ihr zugewandten Ende des Leiters in gröſster Fülle einströmen muſs, nahm er an, daſs hiernach in diesem ein *diagonaloider Transversalmagnetismus* erregt werde, wonach im Wesentlichen an der einen Seite des diagonal getheilten Leiters AB nordpolarer, an der andern CD südpolarer Magnetismus vorherrschend seyn sollte. (Fig. 133.) Indeſs waren damals bei weitem noch nicht alle Thatsachen bekannt, denen auch deswegen die Hypothese nicht genügt, und da der Erfinder derselben sie später nicht weiter auszubilden gesucht hat, so wird diese allgemeine geschichtliche Erwähnung derselben genügen[3].

F. Rückblick auf die verschiedenen Theorieen.

Ueberblicken wir nun noch einmal die verschiedenen Theorieen über den Elektromagnetismus, so können wir nicht gut

---

1 G. LXXIV. 391 ff. LXXV. 269.

2 In seiner mehrerwähnten Schrift: Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus u. s. w. Berl. 1821. 8.

3 Vergl. Gilbert in Annal. d. Phys. LXVII. 382. ff.

umhin, mit Davy zu gestehen, dafs wir bis jetzt noch keine einzige völlig genügende haben, und es vielleicht überhaupt noch zu frühe ist, ernstlich an eine solche zu denken, weil die Kenntnifs der Naturgesetze im Allgemeinen, und der zur Erklärung der elektromagnetischen Erscheinungen erforderlichen im Besondern noch zu sehr in ihrer Kindheit ist[1]. Vergleicht man indefs die hier, so viel ich mir bewufst bin, mit gröfster Unparteilichkeit dargestellten Theorieen mit einander, so wird, wie mich dünkt, der Unbefangene der vom *Transversalmagnetismus* den Vorzug zugestehen. Durch Transversalmagnete hat man die hauptsächlichsten Phänomene, welche der einfache elektrische Leitungsdraht darbietet, am vollständigsten nachgebildet, und liefse sich die analoge Beschaffenheit beider mit Sicherheit nachweisen, so würde man den Elektromagnetismus als einen Zweig der allgemeinen magnetischen Erscheinungen diesen anreihen können. Dabei bleibt aber die Frage noch zu erörtern, *wie viele Pole oder Paare von Polen* im Umfange des elektrischen Leiters anzunehmen sind? Die Beantwortung dieser Frage, wozu mir Pohl's oben (III. C. 18) erwähnter Apparat vorzüglich geeignet scheint, liegt vor der Hand noch scheinbar sehr weit entfernt, um so mehr als die angestellte Untersuchung ergeben hat, dafs weder zwei noch eine beliebig grofse Menge der Aufgabe ein Genüge leisten. Wann und ob überhaupt man hierüber zur Gewifsheit gelangen werde, läfst sich um so weniger bestimmen, wenn man berücksichtigt, dafs in einem so langen Zeitraume die Frage über das Vorhandenseyn einer oder zweier Elektricitäten nicht zur definitiven Entscheidung gebracht werden konnte. Ist es mir indefs erlaubt, einige Hypothesen aufzustellen, nachdem ich den Gegenstand nach allen seinen Seiten in der vorstehenden Abhandlung genau prüfen mufste, so sind dieses folgende.

Wer sich mit gegründeter Hoffnung eines glücklichen Erfolgs diesen Untersuchungen widmen will, der mufs vor allen Dingen die individuelle Wirkungsart der Elektricität und des Magnetismus, welche in diesen Erscheinungen auf eine so höchst räthselhafte Weise verschlungen sind, scharf ins Auge fassen. Hiernach scheint es mir, als ob die Annahme der Existenz fe-

1 Vergl. Davy in Phil. Trans. 1824. 1. Ann. of Phil. 1824. Jan. p. 22. Schweigg. J. XL. 332.

ster, gleichsam starrer polarer Linien (oder Puncte, welches am Ende auf eins hinausläuft) um den elektrischen Leiter nicht zum Ziele führt. Das Verhalten der Sache scheint mir vielmehr folgendes.

1. Die Elektricität durchströmt den vollkommenen und unvollkommenen Leiter nicht als ein Continuum, sondern in einzelnen Pulsen, welche aber in unmeſsbar kurzen Zeiträumen auf einander folgen. Diese Pulsus oder Wellen sind am merkbarsten bei der galvanischen Elektricität, und offenbaren sich den Nerven in dem simmernartigen Gefühle, welches dieselbe im thierischen Körper erregt.

2. Jede einzelne hierzu hinreichend starke Welle trennt in dem Leiter, und vermittelst dessen vielleicht auch in dessen Umgebung, den überall die Erde als eigene Atmosphäre umgebenden, und somit überall vorhandenen neutralen Magnetismus in seine beiden antipolaren Theile auf ähnliche Weise, als eine mechanische Erschütterung diese Trennung im Stahle bewirkt. Die langsamere Durchströmung stark gespannter Reibungselektricität, wenn sie durch Spitzen eingesogen ist, kann daher keine solche Pulsus ausüben, und also auch keinen Magnetismus erzeugen; ihr entgegen steht mit der heftigsten, aber auch am kürzesten dauernden Wirkung der Flaschenschlag, welcher eben diese auch durch die erregte Empfindung ankündigt, in der Mitte zwischen beiden liegt die galvanische Elektricität.

Hier scheint es mir der schicklichste Ort zu seyn, die Frage, warum das *langsame Durchströmen der Elektricität in den Leitungsdrähten keinen Magnetismus erzeugt*, nochmals näher zu prüfen. Wären zuvörderst Elektricität und Magnetismus identisch, so wäre diese gänzliche Unwirksamkeit des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel durchaus unerklärbar, da sich nach den Versuchen von Pfaff (17. A. 13) in dem Leitungsdrahte eine solche Menge freier Elektricität befindet, daſs der genäherte Finger merkbare Funken erhält. Vermöge der Annahme einer Identität beider Potenzen würde man also die Anwesenheit der Elektricität = Magnetismus in einem solchen Leiter zugleich setzen und auch wieder aufheben, was doch ein offenbarer Widerspruch ist, und als solcher mir das gewichtigste Argument gegen diese Hypothese zu seyn scheint[1]. Pfaff

1 Vergl. oben IV. i. A.

leitet dieses Ausbleiben der magnetischen Wirkungen von der zu grofsen Spannung der Elektricität ab, allein hiergegen streitet die Erzeugung des Magnetismus durch den energischen Funken, durch den Flaschenschlag und insbesondere durch den Blitz, worin doch eine ungleich stärkere Spannung der Elektricität anzunehmen ist. Mir scheint der Grund hiervon vielmehr in Folgendem zu liegen. Es ist oben[1] bewiesen, dafs die Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Körper verbreitet, und nicht in das Innere derselben eindringt. Hiergegen streiten aber die oben (II. C. a) erwähnten Versuche Davy's, nach denen die *Masse* und nicht die *Oberfläche* der Metalle ihr Leitungsvermögen bedingt, die Anwendung der medicinischen Elektricität, das Schmelzen sehr dicker Drähte durch den Blitz u. a. m. Sollen diese beiderlei widersprechenden Erscheinungen, und zugleich auch diejenigen, welche sich rücksichtlich der Erzeugung des Elektromagnetismus herausstellen, vereinigt werden, so müssen wir annehmen, dafs die *eigentlich strömende*, in den angegebenen Pulsationen fortschreitende Elektricität durch ihre unwiderstehliche Kraft allerdings die Massen der Körper durchdringt, die widerstrebenden Hindernisse überwältigt, und hierbei zugleich den Magnetimus scheidet. Sofern sie dagegen sich langsamer bewegt, und einseitig als + oder — E. angehäuft nach Neutralisation mit dem Entgegengesetzten strebt, somit auch Anziehung und Abstofsung bewirkt, wird sie eben durch dieses Streben nach Ausgleichung auf der Oberfläche der Körper angehäuft, und trennt die Magnetismen nicht. Kein geladener Conductor kann daher magnetisch seyn, auch keine trockne Säule die Magnetnadel afficiren, die stark gespannte, nach Neutralisation strebende Elektricität scheidet weder Wärme noch Licht aus, sondern dieses alles geschieht blofs durch die strömende, und hiernach pulsirende, in welchem Zustande die galvanische allein auftritt, weil in jedem Elemente des Leiters die Ausgleichung beider Elektricitäten statt findet.

3. Die Trennung der ungleichen, im Zustande der Neutralität gebundenen, Magnetismen ist der Erzeugung der Elektricität, oder eigentlicher der Aufhebung des gewöhnlich bestehenden elektrischen Gleichgewichts ähnlich. So wie durch Reibung, Mittheilung, den Wirkungskreis, Erwärmung u. s. w. ins-

---

1 S. Elektricität IV.

besondere aber durch einen auf Affinitätsgesetze oder wechselseitige Wahlanziehung gleichsam zurückkommenden Einfluſs heterogener Metalle auf einander beide Elektricitäten geschieden werden, so geschieht dieses nämliche durch ähnliche Ursachen beim Magnetismus, die Trennung erhält sich bei beiden bleibend nur in den Nichtleitern, wobei rücksichtlich der Form der letzteren die Elektricität gröſsere Flächen, der Magnetismus längere Stäbe vorzieht.

4. Die Scheidung der Magnetismen durch die Elektricität geschieht (als Beweis der Einfachheit aller Naturgesetze) auf eine ähnliche Weise, als die Erregung der Wärme durch Elektricität, und dieser wieder durch jene, als die Hervorrufung des Lichtes durch Wärme, der Wärme durch Licht, und wenn bei der Elektricität und dem Magnetismus keine Reciprocität rücksichtlich der wechselseitigen Hervorrufung bemerkt wird, so liegt die Ursache hiervon darin, daſs wir den Magnetismus in bedeutender Stärke im Zustande der Trennung nur an die Isolatoren gebunden besitzen, welche derselbe nicht verläſst, wenn auch die entgegengesetzten Atmosphären beider Pole sich binden. Plötzliche Trennungen beider Magnetismen gehen bloſs im elektrischen Leiter vor, und vielleicht werden künftig einmal elektrische Wirkungen der so hervorgerufenen Magnetismen entdeckt werden, deren eigentliche Quelle dann aber sehr schwer zu bestimmen seyn dürfte.

5. Auf welche eigenthümliche Weise und nach welchem bestimmten Causalverhältniſs die Trennung beider Magnetismen durch die elektrischen Wellen geschehe, dieses kann nicht früher aufgefunden werden, als bis wir das Wesen der Elektricität selbst und des Magnetismus erkannt haben, wozu für jetzt noch keine bestimmte Hoffnung vorhanden ist. Rücksichtlich der Elektricität aber ergeben die Erscheinungen so viel, daſs dieselbe im Leiter den kürzesten Weg sucht, und daher, wie auch die Form desselben seyn mag, in der Richtung ihres Fortganges einen Cylinder bildet, um welchen die elektromagnetischen Wirkungen sich in der Hauptsache überall gleichartig zeigen.

6. Um diesen cylinderförmigen elektrischen Strom werden dann bei jedem Pulsus der Strömung die Magnetismen auf eine an sich unbekannte, bloſs aus der Wirkung ersichtliche Weise getrennt, so daſs die nordpolaren nach der einen, die südpola-

ren nach der andern momentan frei werden, und weil diese Pulsus einander der Zeit nach so nahe liegen, so scheint uns ihre Wirkung eine continuirliche. In wie vielen Sectoren des Querschnittes eines z. B. cylinderförmigen elektrischen Leiters die Trennung der Magnetismen erfolgt, oder mit andern Worten, wie viele ungleiche polare Linien bei jedem Pulsus entstehen, ob die Zahl derselben nach der Dicke des Leiters und der Stärke der Elektricität verschieden ist, diese Fragen lassen sich nicht beantworten, es ist sogar noch zu frühzeitig, hierüber nur einmal eine wahrscheinliche Hypothese zu versuchen, so lange eine Hauptfrage noch nicht völlig entschieden ist, nämlich ob wir in Gemäſsheit einer einzigen elektrischen Strömung nur eine einfache, oder in Folge einer zweifachen und entgegengesetzten eine doppelte Wirkung auf den Magnetismus anzunehmen haben, oder ob endlich in der Ausgleichung beider die momentane Erregung des Magnetismus zu suchen ist. Auf gleiche Weise mögte ich nicht darüber entscheiden, nach welcher Seite hierbei der nordpolare Magnetismus gerückt werde, indem dieses von der Ansicht abhängt, ob man den Nordpol der Nadel z. B. durch den nordpolaren Magnetismus zurückgestoſsen, oder im Strome desselben bei der plötzlichen Trennung mit fortgerissen werden läſst. Ohne den verschiedenen Vorstellungsarten jedes Einzelnen rücksichtlich dieser beiden Fragen vorgreifen zu wollen, indem diese Bemerkungen ohnehin, wie gesagt, keineswegs als eine vollständige Theorie anzusehen sind, bin ich doch in Ansehung der ersteren geneigt, mit Seebeck eine zwar nicht unendliche, aber doch eine sehr groſse Menge Trennungspuncte anzunehmen, schon deswegen, weil die Fortführung der getrennten Magnetismen durch einen verhältniſsmäſsig beträchtlichen Raum im Umfange des Leiters weder mit der Geschwindigkeit der einzeln erfolgenden Pulsus, noch mit der ruhigen und wirkungslosen Herstellung des Indifferenzzustandes übereinstimmt[1]. Hinsichtlich der letzteren mögte ich lieber im Widerspruche mit Pohl die Trennung so annehmen, daſs der nordpolare Magnetismus bei einer von N. nach S. gerichteten elektrischen Strömung von der unteren Fläche des Leiters an gerechnet, in der Richtung nach O. durch das Zenith nach W. und so zurück zu liegen käme, weil es mir na-

---

1 Hiergegen scheinen Pohl's Versuche (oben III. C. 18) zu streiten.

türlicher scheint anzunehmen, daſs die nordpolare Nadelspitze vermöge der erregten positiv magnetischen Tangentialkraft fortgerissen werde. Daſs hiermit den von jenem Gelehrten gelieferten Demonstrationen und Rechnungen kein Abbruch geschehe, versteht sich von selbst.

Eine Anwendung dieser Sätze auf die gesammten elektromagnetischen Erscheinungen zu machen, würde zweckwidrig seyn. Indeſs will ich doch bemerken, daſs einige schwer zu erklärende Erscheinungen hierdurch eine eben so unmittelbare als vollständige Aufhellung erhalten. Es ergiebt sich nämlich nach dieser Ansicht von selbst, warum die Magnetnadel unter dem Verbindungsdrahte der beiden Belegungen einer starken Flasche keine Bewegung erhält, ohngeachtet ein Stahldraht starke Polarität annimmt, weil nämlich der Pulsus schon vorüber, und der Zustand des Gleichgewichts wieder hergestellt ist, ehe die Trägheit der Nadel überwunden werden kann, wobei jedoch die Trennung der beiden Magnetismen, bei denen kein Trägheitsmoment zu überwinden ist, vollständig erfolgt. Die Rücksicht auf dieses Factum hat mich zu der Annahme vermogt, daſs der nordpolare Magnetismus durch den gleichnamigen mit fortgerissen werde, indem dieses mit der Schnelligkeit des Erfolgs mehr übereinstimmt als die Annahme, daſs der im Leiter erzeugte südpolare Magnetismus die entgegengesetzte Polarität hervorrufe, wozu mir mehr eine Art von Stillstand gehört, die ich nach dem Verhalten der Nadel weniger anzunehmen geneigt bin. Es folgt aus den Sätzen ferner direct, warum Stahlnadeln, quer auf den elektrischen Leiter befestigt, an jeder Stelle nach einer Seite nordpolar, nach der andern südpolar magnetisch werden, endlich aber warum der elektromagnetische Leiter oben, unten oder zur Seite eines um eine Glasröhre schraubenförmig gewundenen Stahldrahtes hingeführt, Transversalmagnetismus zu erregen vermag, in der Axe desselben aber ganz ohne Wirkung bleibt, weil nämlich dann die im ganzen Umfange getrennten Magnetismen augenblicklich wieder zur Indifferenz zusammentreten.

Wenn man diesemnach die Ungewiſsheit über die Zahl der Doppelpole, in welche der Magnetismus in der ganzen Peripherie des elektrischen Leiters bei jedem Pulsus der durchströmenden Elektricität sich trennend angenommen wird, als minder bedeutend betrachtet, die zweite Unbestimmtheit über

die Lage des nordpolaren und südpolaren Magnetismus gleichfalls übersieht, dann aber die von POHL angenommenen, aus der Natur der Sache folgenden tangentialen Richtungen der entgegengesetzten abstoſsenden Kräfte als in der Sache nothwendig begründet betrachtet, diesen und den hierauf gebaueten Calcül desselben zur Erklärung des elektromagnetischen Hauptphänomens und aller übrigen aus diesem folgenden benutzt, so wäre hiermit allerdings eine vollständige und genügende Theorie des Elektromagnetismus gegeben[1]. *M.*

---

1 Auſser den, in der Abhandlung selbst namhaft gemachten Schriften können der Vollständigkeit wegen noch folgende, mit Uebergehung der Abschnitte über diesen Gegenstand in den neuesten Compendien der Naturlehre, genannt werden:

Dissertatio medico-physica de electromagnetismo cet. auct. C. SCHRADER Halae 1821. Auch in Schweigg. Journ. XXXIII. 1. AMPÈRE: Recueil d'Observations électrodymiques. Par. 1822. 8. K. F. BURDACH Berichte von d. Kön. anatom. Anstalt zu Königsberg. 5ter Ber. Leipz. 1822. KASTNER Observationes de electromagnetismo. Erl. 1821. 4. Saggio di esperienze clettrometriche del Dottore Stef. MARIANINI. Venez. 1825. 8. Recherches sur le Mode de distribution de l'Électricité dynamique dans les corps qui lui servent de conducteurs; par M. DE LA RIVE. Genève 1825. 8.

Physikalisches Wörterbuch

III. Band.

Zweite Abtheilung.

Elektrometer bis Ende E.

Elektrometer.

Elektricitätsmesser, Elektroskop; *Electrometrum;* Electromètre; *Electrometer.* Eine Vorrichtung, um die Stärke und Beschaffenheit der Elektrometrie eines Körpers zu bestimmen, oder die elektrischen Erscheinungen in einem verlangten Grade der Stärke hervorzubringen.

Die meisten Instrumente dieser Art verdienen mehr nur den Namen der *Elektroskope* als eigentlicher *Elektrometer*, sofern sie keine genaue quantitative Bestimmungen gewähren, sondern nur im Allgemeinen anzeigen, ob die E. stärker oder schwächer sey. Indeſs haben die Physiker sich doch in dem Verhältnisse, in welchem durch die fortschreitenden Entdeckungen auch in der Elektricitätslehre alle Bestimmungen sich mehr der mathematischen Schärfe näherten, gleichfalls mehr und mehr bemüht, auch diesen Instrumenten jene Vollkommenheit zu verschaffen, welche den Namen eigentlicher Maſse bei den Barometern, Thermometern, Hygrometern u. u. s. rechtfertigt. Eine solche Vervollkommnung war jedoch dadurch nur erreichbar, daſs einerseits die Wirkungsgesetze der el. Kräfte, welche gemessen werden sollten, mathematisch genau bestimmt wurden, andererseits die Wirkungen, durch welche diese Kräfte gemessen werden sollten, eine genau quantitative Bestimmung zulieſsen. Die Erfüllung dieser beiden Fundamentalbedingungen bil-

det demnach die Grundlage jeder wahren *Elektrometrie.* Ist eine solche gewonnen, so sind eben damit auch Elektrometer ausführbar, und zwar, wie dieses bei allen ächten Metern der Fall ist, vergleichbare, welche allenthalben dieselbe Sprache reden, und eine genaue Vergleichung der Beobachtungen der Physiker über die Stärke der E. unter den verschiedensten Umständen an allen Orten und zu allen Zeiten zulassen. Um in die Darstellung dieser wichtigen Lehre so viel Ordnung und Klarheit wie möglich zu bringen, wird es am angemessensten seyn, in diesem Artikel nur erst eine historische Aufzählung der verschiedenen Aenderungen, die mit diesen Instrumenten vorgenommen worden sind, und ihrer allmäligen Verbesserungen, und zugleich eine genauere, durch Abbildungen erläuterte, Beschreibung der brauchbarsten derselben zu liefern, und in dem folgenden Artikel: *Elektrometrie,* die Grundsätze zu erörtern, nach welchen der Werth und die Brauchbarkeit dieser verschiedenen Instrumente zu beurtheilen ist.

In Rücksicht auf die verschiedenen Zwecke, welchen diese Instrumente genügen sollen, lassen sie sich unter verschiedene Classen bringen. Bei einigen derselben ging nämlich das Haupt-Augenmerk der Erfinder mehr dahin, den Physikern ein Instrument in die Hände zu geben, durch welches sehr schwache Grade von E. noch erkennbar gemacht werden sollten, welche Gattung von Elektrometern daher auch von einigen mit dem Namen *Mikro-Elektrometer* belegt wurden, andere dagegen wurden gerade umgekehrt für die höheren Grade der E. eingerichtet, die man *Mega-Elektrometer* nennen könnte, noch andere wurden vorzüglich erdacht, um die Grade der verstärkten E. bei geladenen Flaschen und Batterieen genauer zu bestimmen, sogenannte *Ladungs-* oder *Ausladeelektrometer,* endlich wurden einige besonders für die Untersuchung der atmosphärischen E., sogenannte *Luftelektrometer* eingerichtet. Da jedoch einige Instrumente mehreren dieser Zwecke zugleich

entsprechen, so werde ich mich mehr an die Zeitfolge, in welcher diese verschiedenen Instrumente nach der Reihe in die physikalischen Apparate eingeführt wurden, halten, als eine strenge Absonderung nach diesen verschiedenen Zwecken beobachten.

Gray bemerkte zuerst, dafs Fäden, die an einer elektrisirten Stange hingen, sich zurückstiefsen und von einander flohen. Du Fay fand eben dieses, und zwar bei leinenen oder Zwirnsfäden am stärksten. Der Letztere benutzte seit dem Jahre 1733 dieses sehr einfache Mittel, zwei Fäden oder nur einen doppelt gespaltenen frei von einer Stange herabhängen zu lassen, um daran leicht zu erkennen, wie bald die Stange elektrisirt werde, und wie bald sie diese E. wieder verliere. Nollet, welcher bei diesen Versuchen zugegen war, sah wohl ein, dafs man von dieser Entfernung der Fäden mehr Vortheil ziehen, und aus der Gröfse ihres Winkels oder ihrer Divergenz auf den Grad ihrer E. schliefsen könne. Weil man aber keinen fremden Körper an diese Fäden bringen durfte, so schlug er vor[1], den Winkel derselben durch ihren auf einem Brette aufgefangenen Schatten mit einem Gradbogen zu messen.

Waiz[2] schlug vor, an die Enden der Fäden kleine Metallplättchen oder Gewichte zu hängen. Er nahm dazu seidene Fäden, und die Gewichtchen gingen aus einander, wenn er einen geriebenen Glascylinder in ihre Nähe brachte. Er machte sich Hoffnung dadurch die zurückstofsende Kraft mit der Schwere vergleichen zu können. Le Roy und D'Arcy[3] schlugen vor, durch die Erhebung eines in einem mit Wasser ganz gefüllten Gefäfse schwimmenden, wie ein Araeometer geformten Glases, vermöge der Repulsion, welche zwischen einem an seinem Halse befestigten Scheibchen und einer messingenen Scheibe, womit das Gefäfs zugedeckt ist, statt findet, die Stärke dieser Repulsion, und damit die Intensität der E. an dem Leiter, welcher dieser Scheibe seine E. mittheilt, zu messen. Nur für sehr hohe Grade von E. dürfte indefs eine solche Vorrichtung irgend einigen Ausschlag geben. Ellicot[4] schlug eine Wage vor, wo das Gewicht in einer Schale zeigt, wie stark ein elek-

1 Mem. de Paris 1757.
2 Abhandl. von der E. und deren Ursache. Berlin 1745. 4.
3 Mem. de Paris 1749.
4 Phil. Trans. Vol. LXV. 1775. No. 486.

trisirter Leiter die darüber gehaltene andere Schale anziehe[1]. Auf ähnlichen Gründen beruht auch ein Vorschlag von Gralath[2]. Canton[3] richtete 1753 die von Du Fay gebrauchten Fäden zu dem lange Zeit im Gebrauch gebliebenen Korkkugelelektrometer ein. Er liefs aus Kork oder Hollundermark zwei kleine Kugeln von der Gröfse einer Erbse sauber abdrehen, und hing sie an feine Zwirnsfäden. Er schlofs sie gewöhnlich in ein buxbaumenes Futteral oder Kästchen ein, damit man sie bei sich tragen konnte. Es darf auch nur ein Faden seyn, der in der Mitte umgebogen wird. Dieses Elektrometer gehört schon zu den sehr empfindlichen, und kann leicht dazu dienen, positive und negative E. zu unterscheiden, indem man die Kügelchen vorher durch Mittheilung eines schwachen Grades einer bekannten E. z. B. von einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange divergiren macht.

Fig. 134.

Henlys 1772 erfundenes Quadranten-Elektrometer beschreibt Priestley[4]. Dasselbe steht auf einem kleinen Gestelle, von dem es nach Gefallen abgenommen und auf den ersten Leiter u. s. w. befestigt werden kann. Es besteht aus einer senkrecht stehenden Saule, die oben kugelförmig abgerundet ist, und unten ein Messingblech hat. Oben am Stiele ist ein getheilter elfenbeinerner Halbkreis befestiget, in dessen Mitte der Zeiger an einer feinen Achse von Messing steckt; der Zeiger selbst ist ein sehr dünnes Stäbchen, welches vom Mittelpuncte des Halbkreises bis an das Messingblech reicht, und trägt unten ein fein abgedrehtes Korkkügelchen. Das beste Holz zur Säule und zum Zeiger ist Buxbaum. Beim Elektrisiren steigt der Zeiger, und giebt auf dem Halbkreise Grade an, woraus sich auf die Stärke der E. schliefsen läfst. Diese Einrichtung hat das Unvollkommene, dafs wegen der Seitenrepulsion von der Scheibe aus die Bewegung sehr unregelmäfsig ist, auch dafs

Fig. 135.

---

1 Gilbert's Vorschlag, Ann. LX. 25, eine gewöhnliche feine Wage zu elektrometrischen Versuchen zu benutzen, wird von Egen mit Recht wegen zu geringer Empfindlichkeit derselben verworfen. S. G. LXXXI. 295.

2 Vers. und Abhandl. der naturf. Gesellsch. in Danzig. Th. I. 1747. No. 6.

3 Phil. Trans. Vol. XLVIII. P. 1. No. 53.

4 Phil. Trans. Vol. LXII. No. 26.

der Zeiger an seinem Aufhängungsorte Reibung erleidet, und sich bisweilen so klemmt, daſs er gar nicht in die Höhe steigt.

Langenbucher[1] stellte zwei 6 Zoll lange Glassäulen 3 Zoll weit von einander; auf der einen steht ein 5 Zoll hohes und 1 Zoll breites messingenes Plättchen, an dessen unteres Ende ein krummgebogener Draht mit einer Kugel eingeschraubt ist. Am obern Ende hängt ein buxbaumener Zeiger, aber ohne Korkkügelchen am untern Ende, herab. Auf der andern Glassäule steht ein getheilter Halbkreis von Elfenbein oder gedürrtem Holze, dessen Mittelpunct in den Aufhängungspunct des Zeigers fällt. Alles bis auf die Messingplatte, den Zeiger und den Halbkreis ist mit Siegellack überzogen. Beim Gebrauche verbindet man die messingene Kugel mit dem elektrisirten Körper. Diese Art der Einrichtung vermeidet den Nachtheil der Seitenrepulsion, und ist auch bequemer, um sie mit jedem Conductor in Verbindung zu bringen.

Achard war der Erste, der diesem Instrumente, welches nach den bisherigen Einrichtungen als ein bloſses Elektroskop zu betrachten war, das nur verschiedene Stärken der E. im Allgemeinen angab, ohne sie übrigens nach ihrem wahren quantitativen Werthe zu messen, und mit welchem keine vergleichbaren Beobachtungen angestellt werden konnten, die Vollkommenheit eines wirklichen Meters zu geben bemüht war[2], indem er das jedesmalige Verhältniſs der E. zur Schwere des Erdkörpers zu bestimmen suchte. An einem messingenen Lineale[3] AB sind bei C, c an kleinen Haken zwei Kugeln von verschiedenem Gewichte F, f an messingenen Fäden von gleicher Länge aufgehangen. Die Fäden müssen so steif seyn, daſs sie sich nicht krümmen. Das Lineal hat bei L, l Vertiefungen, damit der Faden dicht an seiner Seite anliegen kann, wenn die Kugel das Lineal berührt. Die Kugeln würden aus Meerschaum zu verfertigen seyn, welche Materie die Feuchtigkeit aus der Luft wenig annimmt. Kennt man das Gewicht der Kugel mit

Fig. 136.

1 Beschreibung einer beträchtlich verbesserten Elektrisirmaschine. 1780. 8. S. 44.

2 Beschäftigungen der Berl. Ges. naturf. Freunde. Thl. I. Berlin 1775. gr. 8. S. 53 flgd.

3 Vergl. Lichtenbergs Magazin für das Neueste u. s. w. Bd. II. St. 1. S. 146.

seinem Pendel und die Gröfse des Abstofsungswinkels, so kennt man eben damit die Gröfse der abstofsenden Kraft in Gewicht ausgedrückt[1]. Der Winkel, auf dessen genaue Bestimmung hierbei alles ankommt, mufs in einer Entfernung von wenigstens 4 Fufs gemessen werden können, weil bei einer gröfseren Nähe eines fremden Körpers das Pendel gestört werden würde. Hierzu gab nun der Erfinder einen zwar sehr gut ausgedachten aber auch sehr zusammengesetzten Chorden-Messer an, den sonst Elkner in Berlin nebst dem Elektrometer selbst für 72 Thaler verfertigt hat, welches Instrument schon wegen dieses hohen Preises sich nicht leicht Eingang in den el. Apparat verschaffen konnte, abgesehen davon, dafs dasselbe mit el. Conductoren nicht bequem zu verbinden, auch für die Bestimmung schwächerer Grade von E. gar nicht anwendbar ist.

Cavallo verschaffte dem Canton'schen Elektrometer durch Einschliefsen in eine bequem dazu eingerichtete Flasche und andere kleine Verbesserungen eine vielseitigere Brauchbarkeit, besonders auch für die Beobachtung der Luftelektricität. Diese Verbesserungen brachte er im Jahre 1777 zu Stande. Adams verfertigte nach seinem Modelle mehrere derselben, und theilte auch zuerst eine Beschreibung und Abbildung davon mit[2], die nachher auch Cavallo[3] nachgeliefert hat. Der Hauptheil dieses Flaschen-Elektrometers ist eine Glasröhre CDMN, welche unten auf das hölzerne (oder auch messingene) Stück AB gekittet ist, wobei man das Instrument hält, wenn man es zur Untersuchung der atmosphärischen E. gebraucht. Der obere Theil des Rohres CDMN läuft am Ende etwas enger zu, und ist ganz mit geschmolzenem Siegellack überzogen. In dieses enger zulaufende Ende ist eine dünne Glasröhre gekittet, deren unteres, gleichfalls mit Siegellack bedecktes Ende in der Röhre CDMN ein wenig hervorragt. In diese dünne Röhre ist ein Draht gekittet, welcher mit seinem untern Ende bis an das platte Stück Elfenbein H reicht, das mittelst eines Korkes in die Röhre befestigt ist. Das obere Ende des Drahtes ragt etwa $\frac{1}{4}$ Zoll über der Röhre heraus, und schraubt sich in die messingene Kapsel

Fig. 137.

1 Vergl. Elektrometrie.

2 Vers. über die E. S. 164.

3 In der 4ten Auflage seiner vollständigen Abhandlung von der E. IIter Bd. S. 19. Leipzig 1797.

E F, welche unten offen ist, und dazu dient, die mit Siegellack überzogenen Theile des Instruments gegen den Regen u. dergl. zu sichern. Die conischen Körke P, welche durch ihr Zurückstofsen die E. anzeigen, sind bei diesem Elektrometer so klein, als man sie nur verfertigen kann, und an sehr feinen Silberdrähten aufgehangen. Diese Drähte sind oben im Ringe gebogen, und hängen damit sehr lose in dem flachen Stücke Elfenbein H, das zu diesem Behuf zwei Löcher hat. Durch diese Art der Aufhängung wird die Reibung ganz unbedeutend, und daher das Instrument gegen einen sehr geringen Grad der E. empfindlich. T M und K N sind zwei schmale Stanniolstreifen, welche an der innern Seite der Röhre C D M N befestigt sind, und mit dem hölzernen Boden A B in Verbindung stehen. Sie dienen zur Ableitung der E., welche dem Glase durch Berührung der Körke mitgetheilt wird, und bei einiger Anhäufung der freien Bewegung der Körke hinderlich seyn würde.

Will man vermittelst dieses Instrumentes schwache Grade von E., wie sie z. B. beim Reiben von Körpern, die in ihrer Beschaffenheit nur wenig von einander abweichen z. B. verschiedener Glasarten, und zugleich die Beschaffenheit derselben an jedem der beiden geriebenen Körper erkennen, so müssen die Korkkügelchen selbst schon zuvor eine schwache E. erhalten haben, durch welche sie divergiren. Dieses läfst sich indefs nicht durch Mittheilung bewirken, da die Kappe bei ihrer vollkommenen Abrundung und glatten Oberfläche die E. von einer geriebenen Siegellackstange oder Glasröhre selbst bei unmittelbarer Berührung nur mit Mühe, schwächere Grade aber gar nicht annimmt, allein sehr wohl läfst sich diese Elektrisirung der Korkkügelchen durch Vertheilung zu Stande bringen. Zu diesem Behuf nähert man eine durch Reiben elektrisirte Siegellackstange oder Glasröhre der Kappe, bis die Kügelchen hinlänglich divergiren, doch ohne an die Glaswände anzustofsen, was durch die vermittelst der Atmosphärenwirkung zurückgetriebene, mit derjenigen des angenäherten Körpers gleichartige E. geschieht. Berührt man die Kappe mit dem Finger, während man den genäherten elektrisirten Körper unverändert in seiner Lage erhält, so fallen die Korkkügelchen zusammen, indem die freie E. der Korkkügelchen abgeleitet wird, oder sich mit ihrem Gegensatze aus dem Erdboden ausgleicht. Hebt man dann die Berührung mit dem Finger auf, und entfernt den elek-

trisirten Körper, so gehen die Korkkügelchen abermals mit der von letzterem vorher gebundenen und nunmehr frei werdenden, der seinigen entgegengesetzten E. aus einander, und zwar eben so stark, als sie vorher durch die mit der seinigen gleichartige E. divergirten, und diese E. wird sich lange Zeit, bei recht trockener Witterung Stunden lang fast ungeschwächt erhalten. Bringt man irgend einen Körper, dessen freie E. man untersuchen will, gegen die Kappe E E., so werden die Körke des Elektrometers durch ihr Zusammen- oder weiteres Auseinandergehen die Art seiner E. anzeigen, indem Ersteres durch eine derjenigen der Korkkügelchen entgegengesetzte, Letzteres durch eine mit der ihrigen gleichartige E. bewirkt wird. Es bedarf kaum erinnert zu werden, daſs dieses Instrument in der beschriebenen Einrichtung ein bloſses Elektroskop und kein Elektrometer ist.

Mit diesem Flaschenelektrometer Cavallo's kommt im Wesentlichen das so bekannte *Goldblattelektrometer* Bennet's überein, nur daſs statt der Korkkügelchen Goldblättchen zum elektroskopischen Körper gebraucht sind, wodurch dieses Elektrometer ungemein an Empfindlichkeit gewonnen hat, und ein wahres Mikroelektrometer darstellt. Abraham Bennet hat im Jahre 1787 eine Beschreibung und Abbildung davon[1] gegeben, und Boeckmann hat seinen Gebrauch zuerst in Deutschland[2] bekannt gemacht, wo sich eine Beschreibung und Abbildung des von ihm in einigen Puncten abgeänderten Instrumentes findet. Das wesentlich Neue an demselben sind die Streifen von geschlagenem Golde, etwa 2 Linien breit und 18—20 Linien lang. Diese hängen an den Seitenflächen der keilförmigen Zuschärfung eines Stückes Holz, oder noch besser Zinns, woran sie mit ein wenig Eierweiſs oder Firniſs angeklebt werden, dicht neben einander und parallel unter sich in der Mitte eines Glascylinders herab, welcher etwa 1,5 Z. im Durchmesser hat und ungefähr 3,5 Z. hoch ist. Damit diese Glasröhre noch besser isolire, wird der obere Theil derselben etwa auf eine Strecke von einem Zoll mit Siegellack oder gutem Bernsteinfirniſs überzogen, der untere Theil der Röhre geht etwas gedrängt in eine

Fig. 138.

1 Phil. Trans. LXXVII. daraus übers. in den Leipziger Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte. IV. Bd. 4tes St. S. 419.

2 Grens Journal der Physik. I. Band. S. 380 flgd.

messingene Einfassung, welche an den Seiten mit Leder oder mit Sammet ausgefüttert, und unten an dem hölzernen Fuſse des Instruments angeschraubt ist; der obere Theil derselben schlieſst sich eben so in einen mit starkem Seidenzeug gefütterten Ring, der in den metallenen Deckel qq von 4″ im Durchmesser eingelöthet ist. Dieser Deckel qq ist auch mit einem ¾ Zoll breiten niedergehenden Rande mm versehen, um dadurch bei Versuchen im Regen und Schnee die Glasröhre gegen die herabfallende Feuchtigkeit zu schützen. In der Mitte des Deckels ist eine Oeffnung von 10 Linien im Durchmesser, worin das Stück d eingeschraubt wird, an welches die kleine messingene Röhre a gelöthet ist, um das Holz oder Metallstück b aufzunehmen, welches zum Anhängen der beiden Goldstreifen keilförmig zugeschnitten ist. Auch wird an dasselbe von auſsen ein 1 bis 1,5 Fuſs langer zugespitzter messingener oder eiserner Draht bei Untersuchung der atmosphärischen E. geschraubt. Das ganze Stück d kann bequem herausgenommen werden, um die Goldstreifchen daran zu kleben. Endlich sind noch innerhalb der Glasröhre an zwei einander gegenüberstehenden Seiten 3 — 4 Linien breite Streifen Stanniol angeleimt, um die E. von den bis zur Berührung damit divergirenden Goldblättchen anzunehmen, und durch den Boden fortzuleiten, zu welchem Zwecke der untere Boden des hölzernen Fuſses noch mit Stanniol überzogen ist.

Da dieses Instrument zur Ausmittelung der kleinsten Grade von E. vorzüglich unter Mitwirkung des Condensators von vorzüglich gutem Dienste ist, und nur das Behrens-Bohnenbergersche ihm etwa den Rang streitig machen könnte, so will ich hier noch einige Verbesserungen in der beschriebenen Einrichtung, und einige Rathschläge für seinen Gebrauch und seine Erhaltung geben. Für alle Versuche, mit Ausnahme derjenigen über die Luftelektricität, ist es viel besser, wenn die obere messingene Fassung eine so kleine Oberfläche wie möglich hat. Ich bediene mich daher am liebsten enghalsiger, in der gröſsten Weite des Bauchs 4 Zoll haltiger kleiner Glasglocken, wodurch dann die obere messingene Fassung nur eine sehr kleine Oberfläche erhält, und zugleich der Raum für die Divergenz der Goldblättchen gröſser wird, und das Instrument in der Mikro-Elektrometrie eine gröſsere Zahl von Graden umfaſst. Diese messingene Fassung dient zugleich als Schrauben-Mutter, um

das Messingstück, an welchem der keilförmig zugeschnittene Metallstab von Zinn zur Anklebung der Goldblättchen angelöthet ist, einzuschrauben, welches Messingstück oberwärts einen schraubenförmig eingeschnittenen Stiel hat, um entweder eine Kugel oder die Platte eines Condensators aufschrauben zu können. Um die Isolirung der Goldblättchen noch vollkommener zu machen, kann man auch die obere messingene Fassung ganz weglassen, indem der Metallstift für die Goldblättchen unmittelbar in eine aufsen und innen mit Siegellack überzogene Glasröhre eingekittet wird, welche ihrerseits in einen gleichfalls mit Siegellack überzogenen durchbohrten Kork befestigt ist, der in die obere Mündung des Halses der kleinen Glocke vollkommen genau pafst. Die Anklebung der Goldblättchen an die Flächen des keilförmigen Endes des Metallstiftes mit etwas arabischem Gummi oder Firnifs hat nicht die geringste Schwierigkeit, und kann von jedem Buchbinder, der auch die Blättchen zurecht schneidet, leicht beschafft werden, und es bedarf dazu nicht des umständlichen Verfahrens, welches Cavallo[1] vorschreibt. Da es sehr wichtig ist, dafs die Fläche der Goldblättchen parallel mit der Fläche der Stanniolblättchen an den Wänden des Glases sey, so kann dieses bei der zweiten Einrichtung leicht durch eine angemessene Drehung des Korkes erreicht werden, bei der ersten Einrichtung mit der messingenen Fassung mufs man sich dadurch zu helfen suchen, dafs man zwischen das Messingstück, das eingeschraubt werden soll und die messingene Fassung ein zusammendrückbares Plättchen Bley oder Stanniol legt, und so lange die Schraube anzieht, bis der vollkommene Parallelismus erreicht ist. Es versteht sich, dafs man nach der Länge der Schraube bald ein dickeres, bald ein dünneres Plättchen bedarf. Der Keil am Metallstifte wird so zugeschnitten, dafs die Goldblättchen, wenn sie an die Seitenwandungen desselben bis an die untere Schärfe angeklebt sind, und parallell neben einander herabhängen, ein klein wenig von einander abstehen, wodurch das beschwerliche Anhaften derselben an einander vermieden wird, das oft nur durch starke Grade von E. wieder aufgehoben werden kann, wobei die Blättchen leicht zerreifsen.

Ich knüpfe hier noch zwei Verbesserungen an, durch welche Parrot bemüht gewesen ist, einerseits die Empfindlichkeit

---

1 Vollst. Abhdl. II. Thl. S. 177.

dieses Elektrometers noch zu erhöhen, andererseits seinen Gang regelmäſsiger zu machen [1]. PARROT bedient sich nur eines Goldblättchens, die Stelle des anderen vertritt ein unbeweglicher Metallstab ef, von derselben Breite, wie das Goldblättchen, und vergoldet, der neben demselben herabgeht, sich nach oben bis d verlängert, und daselbst umgebogen ist, um die eine Condensatorplatte aa anschrauben zu können und in eine Glasröhre de eingekittet, die durch eine Hülse von Metall rs an die Glasplatte AB angekittet wird, durch welche sie ¾ ihre Länge hindurchgeht. Eine andere Metallstange ist in einem Charniergelenke durch den Fuſs it auf der Metallplatte EF aufgeschraubt, die das Ganze trägt, und selbst auf drei Schraubenfüſsen ll ruhet, durch welche der Metallstab ef in eine genau verticale Lage gestellt werden kann. Das Charnier ist so eingerichtet, daſs man die andere Scheibe des Condensators bb bis in die Lage xy bringen, und wieder in die verticale Lage parallel mit aa und nicht weiter bringen kann. Eine kleine Handhabe g, die an die Stange ch befestigt ist, dient diese Bewegungen vorzunehmen. Das gläserne Gehäuse des Elektrometers ist übrigens von länglicher viereckiger Gestalt, wie die Zeichnungen angeben. Da die bei dem gewöhnlichen Goldblattelektrometer an den Seiten des Glases angebrachten Stanniolstreifen auf die Goldblättchen wirken, und durch Anziehung ihre Divergenz vermehren, und zwar um so stärker, je gröſser ihre Divergenz ist, so substituirte PARROT denselben einen aus einem Messingdrahte verfertigten Bogen Km, der mit seinen Füſsen nn mit der Metallplatte KI, welche den Boden des Glaskastens ausmacht, verbunden ist. Der Mittelpunkt dieses Bogens ist in o, derjenige Punkt, wo das Goldblättchen an den Stab angeleimt ist, das also den Radius desselben bildet, und der Bogen äuſsert also eine ganz gleichförmige Wirkung auf das Goldblättchen, in welcher Lage sich auch dasselbe befinden möge. Um die Empfindlichkeit dieses Elektrometers noch mehr zu erhöhen, hat PARROT demselben noch eine andere Einrichtung gegeben. Der Bogen wird nämlich weggelassen, und an der Stelle desselben befindet sich ein vertical parallel mit dem Goldblättchen aufgerichteter Metallstab qr, der an einem in halbe Linien getheilten horizontalen Metallstabe rs befestigt ist. In-

Fig. 139.

Fig. 140.

Fig. 141.

1 Entretiens sur la Physique. Tome V. Dorpat. 1822. p. 86.

dem der Letztere sich über einen andern in der Metallplatte K l befestigten Stabe fortschieben läſst, kann der verticale Metallstab bis zur Stange e f, an welcher das Goldblättchen hängt, einerseits beliebig genähert, andererseits so weit davon entfernt werden, daſs er keinen merklichen Einfluſs mehr auf dasselbe ausübt, selbst wenn das Goldblättchen bis 90° divergirt. Es ist klar, daſs wenn das Goldblättchen um einige Grade divergirt, diese Divergenz mit der Annäherung des Stabes zunehmen werde, bis bei gehöriger Annäherung es zum Anschlagen kommt. Wie sehr die Empfindlichkeit des Elektrometers dadurch erhöhet wurde, ergab sich unter anderm aus folgendem Versuche. Näherte man den Stab bis auf eine Entfernung von einer halben Linie von dem Goldblättchen, wenn dasselbe keine gröſsere Divergenz als von 0,12 eines Grades hatte, so nahm die Divergenz bis auf 2°,25 in demselben Augenblicke zu, wenn die Berührung eingetreten war. Die Divergenz war also in dem Verhältnisse von 18,75 : 1 erhöht worden, und in diesem Verhältnisse war demnach auch die Empfindlichkeit des Elektrometers gesteigert. Es ergab sich aus eben diesen Beobachtungen gleichfalls, daſs je schwächer die E. ist, desto gröſser die Vervielfältigung der Grade ist, wenn das Goldblättchen anschlägt. Für 4° war z. B. die Vergröſserung des Elongations-*Winkels* 3,25 fach für 12 Grade 2,5 fach und für 22°,3 zweifach. Wenn die E. aus einem Elektricitätsquell auch so schwach ist, daſs selbst bei Anwendung des doppelten Condensators[1] das Goldblättchen sich nur um eine zweifelhafte Gröſse vom Stabe entfernt hatte, so näherte sich dasselbe bei Annäherung des beweglichen Ableiters, um eine meſsbare Gröſse dem Stabe allmälig bis zum Anschlagen an denselben[2].

Nicholson[3] hatte eine der Parrot'schen ähnliche Einrichtung schon früher angegeben, indem er den beiden Goldblättchen ein Paar flache Messingstäbe gegenüber stellte, die sich um eine gemeinschaftliche Achse gleich den Schenkeln eines Cirkels drehen, und sich dadurch einander nähern oder von einander

1 S. *Condensator*.

2 Vergl. auch Ueber die Sprache des Elektricitätsmessers, von Parrot in Gilb. Ann. 1819. I. Bd. S. 263.

3 Journ. of. nat. Ph. 1797.

entfernen lassen. Parrot's Einrichtung verdient aber wegen ihrer größeren Einfachheit den Vorzug.

Schweigger hat vorgeschlagen[1], bei dem Goldblattelektrometer statt der Deckplatte von Messing eine kleine belegte Franklin'sche Tafel anzubringen, um mittelst einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange durch Vertheilung die Goldblättchen erst zur Divergenz zu bringen. Indeſs kann dieses durch das oben beschriebene Verfahren einfacher bewerkstelliget werden.

Im Jahre 1786 erschien das wichtige Werk von de Lüc: Nouvelles Idées sur la Météorologie, in welchem dieser Physiker vorzüglich zum Behuf seiner Untersuchungen über die E. sich auch mit der Verbesserung der als eigentlicher Maſse für die verschiedenen Grade der E. im Ganzen doch noch sehr unvollkommenen Elektrometer beschäftigte, ein sogenanntes *Fundamentalelektrometer* angab, und Vorschriften mittheilte, wie sich vermittelst desselben auch für andere Fälle allgemein vergleichbare Elektrometer verfertigen lassen. Die Bemerkungen und Vorschläge de Lüc's haben auch für den gegenwärtigen Standpunct der Wissenschaft noch Interesse genug, um hier ihrem wesentlichen Inhalte nach eine Stelle zu verdienen.

De Lüc bemerkt vorläufig nach Volta, man könne genaue elektrometrische Beobachtungen nie in der Nähe der Elektrisirmaschine anstellen, weil durch diese die umgebende Luft mit elektrisirt werde, welches in den beweglichen Theilen des Werkzeugs fremde Bewegungen hervorbringe. Man müsse sich vielmehr von dieser ersten Quelle des el. Fluidums entfernen, und sich lieber durch eine leidner Flasche damit versehen, welche für alle Versuche dieser Art mehr als hinreichend sey. Er hat dazu eine cylindrische Flasche gewählt, deren Höhe 5,25 engl. Zoll, der Durchmesser 2¼ Zoll hielt. Die Belegungen reichten von innen nach auſsen bis 1¼ Zoll von oben, und der unbelegte Raum war mit Siegellack überzogen. Die Oeffnung war mit einer hölzernen Scheibe verschlossen, durch welche der Stiel des Knopfes ging. Der Knopf selbst hatte ⅞ Zoll im Durchmesser. Nach dieser Flasche hat nun de Lüc die Krümmungen der Theile des Apparates, mithin auch die Gröſse der Kugeln eingerichtet, weil alles so beschaffen seyn muſste, daſs

1 J. A. B. XXV. S. 168.

bei der Berührung mit dem Knopfe der Flasche in ihrer stärksten Ladung kein Theil einen Strahlenbüschel aussendete. Statt der sonst gewöhnlichen Hollundermarkkügelchen gebraucht DE LUC hohle Kugeln von Silber an Strohhalmen aufgehängt, die er bei seinen Versuchen am vortheilhaftesten fand. Er macht nur die eine von beiden Kugeln beweglich, weil die Beobachtungen geschwind angestellt werden müssen, und sich die Stellung zweier Körper gegen die Scale nicht so leicht bemerken läfst, auch weil die Beweglichkeit einer einzigen Kugel durch ein oben angebrachtes Gegengewicht beträchtlich vermehrt werden kann. Der Fufs des Fundamentalelektrometers a a ist von Holz, und unten mit einer Bleiplatte b b belegt, damit das Instrument feststehe. Auf dem Fufse ist ein Stück Holz c eingeschraubt, welches die isolirende Säule d d trägt, die aus einer in- und auswendig mit Siegellack überzogenen Glasröhre besteht. Oben daran ist eine Verbindung aus verschiedenen Stükken Buchenholz, deren vorzüglichstes e f mit seinem Zapfen f in die Röhre geht, und sich darin mit sanftem Anreiben umdreht. Quer durch dieses Stück geht horizontal die Glasröhre g g, von innen und aufsen mit Siegellack überzogen. Sie schliefst ein Stäbchen von Messing ein, welches dem Elektrometer zum Leiter dient. Das eine Ende des Stäbchens geht mit einer Schraube in den messingenen Cylinder h, das andere in die messingene Kugel i. Die unbewegliche Kugel k l m ist an dem Puncte k an das hölzerne Stück k l aufgehängt, dessen Theil l in einen Halm ausgeht, an dem die Kugel angeleimt ist. Das hölzerne Stück h ist flach und geht mit etwas Gewalt in eine Oeffnung des messingenen Cylinders h, wo es durch einen Stift gehalten wird. Die Oeffnung des Cylinders erlaubt dem Stücke k eine kleine Bewegung an seinem Stifte, welche dazu dient, diese Kugel in Berührung mit der andern zu bringen, wenn die letztere gehörig hängt. Diese letztere ist am Puncte p in eine Gabel p o aufgehangen, deren Zapfen o mit etwas starkem Reiben in den Cylinder h geht. Die Scale r s ist aus Buchenholz, etwa 0,75 Linien dick, das Papier darauf mit Kleister aus Stärkemehl aufgeklebt und unter einer Presse getrocknet; der Rand ist abgerundet, wie alle Stücke am el. Apparate. Der Halbmesser dieser Scale ist 4 Pariser Zoll; man hat nicht nöthig, mehr als 40 Grade darauf zu tragen, weil für stärkere E., wo die Divergenz gröfser wird, das Fundamentalelektrometer nicht gebraucht werden soll. Diese sehr

Fig. 142.

leichte Scale wird von einem kleinen gläsernen Stäbchen tr vermittelst einer bloſsen Röhre von aufgerolltem und geleimtem Papier, das mit Leim hinter die Scale in r befestiget ist, getragen[1]. Das andere Ende des Stäbchens geht in einem hölzernen Wirbel t. Das Stück uu ist ein Ring, der sich mit etwas starker Reibung umdreht, in diesen Ring geht mit gleicher Reibung der Wirbel t.

Diese Verrichtung läſst vielerlei Bewegungen zu, mittelst deren man der Scale ihre gehörige Stellung geben kann. 1. Man bringt sie in eine verticale Ebene, indem man die kleine papierene Röhre auf dem Glasstäbchen beim Puncte r dreht. 2. Man bringt sie in eine bestimmte Entfernung von der Kugel, indem man den Ring uu dreht. 3. Man macht den Halbmesser, welcher dem Anfange der Scale correspondirt, vertical durch Bewegung des Wirbels t. 4. Man läſst diesem Halbmesser mit der beweglichen Kugel correspondiren, indem man das Glasstäbchen, welches in dem Wirbel t oder der papierenen Röhre r fort glitschen kann, verlängert oder verkürzt. In diesem Stande muſs der Mittelpunct, um den die Scale beschrieben ist, mit dem Aufhängepuncte der Kugel in einerlei waagerechter Ebene liegen. Das Stäbchen der beweglichen Kugel n ist aus einem Strohhalme gemacht, der sehr gerade, und mit einer kleinen scharfen Feile an dem obern Theile eines Gliedes abgeschnitten seyn muſs. Man läſst den Knoten nebst einem kleinen Theile des folgenden Gliedes daran, und paſst den Letzteren gleichsam einschraubend in die dünne Hülse der Kugel n ein. In dem Aufhängepuncte p hängt der Strohhalm vermittelst eines rechtwinklich durchgesteckten stählernen Zapfens in einem Ringe, aus welchem man das ganze Pendel sehr leicht herausnehmen kann. Das Gegengewicht q besteht aus einer Kugel von Siegellack, welche durch ein Stäbchen von überzogenem Glase mit der messingenen Röhre oder Hülse verbunden ist, die das ganze Pendel bei p umgiebt. Die hohle silberne Kugel n muſs genau 7 Par. Linien im Durchmesser haben. Ihre Entfernung vom Aufhängepuncte, vom Anfange der Kugel an gerechnet, muſs 4 Zoll 8 Linien seyn, und die Länge des Glasstäbchens, welches die Kugel trägt, muſs 2 Zoll 9 Linien be-

---

1 Diese Röhre ist in der Figur durch eine punctirte Linie vorgestellt.

tragen. Die silberne Kugel muſs durch allmäliges feines Abdrehen so justirt werden, daſs sie mit dem daran befindlichen Halme, jedoch ohne Gegengewicht, am Aufhängepuncte p horizontal auf eine Gabel gelegt, auf der Schale einer empfindlichen Wage genau mit 30 Gran nach englischem Troy-Gewichte, oder 24$\frac{1}{8}$ Gran französischem Markgewichte in Gleichgewichte steht. Das Gegengewicht q mit dem Glasstäbchen muſs hernach dem Pendel so angepaſst werden, daſs in der oben erwähnten horizontalen Lage des Ganzen, von dem Gewichte der silbernen Kugel nur noch 7,5 Gr. englisch (6$\frac{1}{11}$ franz.) übrig bleiben[1].

Dieses *Fundamentalelektrometer* wird allemal gebraucht, wenn man unmittelbar durch eine Leidner Flasche von mäſsiger Gröſse elektrisirt, weil bei geringeren Dimensionen des Elektrometers Strahlenbüschel entstehen würden. Hat man aber bloſs die Wirkung eines elektrisirten Körpers auf andere Körper zu untersuchen, so kann man kleinere Werkzeuge gebrauchen. De Lüc nimmt zu dieser Absicht eine zweite Classe jener ersteren völlig ähnlich, aber auf die Hälfte der Dimensionen reducirt, nur die Höhe des Fuſses, und die Länge des kleinen Leiters gg ausgenommen, welche stets dieselben bleiben. Sie werden durch Vergleichung mit dem Fundamentalelektrometer eingerichtet, indem man den Knopf i des Letzteren mit ihrem Knopfe in Verbindung bringt, beide gemeinschaftlich elektrisirt, und die anfangs etwas groſs genommene Lackkugel des Gegengewichts so lange vermindert, bis beide übereinstimmend gehen. Ist es nöthig, die Kugeln des Elektrometers auſser den Wirkungskreis des elektrisirten Körpers zu bringen, so muſs der Leiter gg durch ein eingeschraubtes messingenes Stäbchen verlängert werden.

Bei der Untersuchung der E. in sehr kleinen Körpern gebraucht de Lüc ganz kleine, übrigens dem gröſseren ähnliche, Werkzeuge mit zween Grashalmen, die man an dem Stengel gewisser Gräser sehr dünn findet. Auch hierbei ist der eine Halm beweglich, der andere unbeweglich, und an beiden Enden derselben ist ein Tropfen Siegellack angebracht, um die Zer-

---

1 Die Handgriffe, wodurch man diese Absicht erreicht, werden von de Lüc im 1sten Bande der Nouvelles Idées §. 411 umständlich beschrieben.

streuung der E. zu verhüten. Bei dem ersten Leiter einer starken Elektrisirmaschine kann das Fundamendalelektrometer nicht gebraucht werden, weil es ihn unaufhörlich durch Büschel entladen würde; eben so wenig dient es für schwache Elektricitäten, welche z. B. unter einem Grade sind. Aus diesem Grunde hat de Luc auch noch el. *Megameter* und *Mikrometer* angegeben. Die Megameter müssen große Kugeln haben, damit an ihnen keine Büschel hervorgebracht werden, und es ist der vorzüglichste Fehler aller bisher an die ersten Leiter der Maschine angebrachter Elektroskope, daſs ihre Kugeln zu klein sind. Kugeln von 2 Zoll Durchmesser sind schon für mittelmäſsige Elektrisirmaschinen nicht zu groſs. Bei gröſseren Maschinen kann man Kugeln von 3—4 Zoll Durchmesser gebrauchen. Der Leichtigkeit halber kann man auch kleine ausgehöhlte Kürbisse gebrauchen, die man sorgfältig vergolden läſst. Statt der Strohhalme nimmt man Schilf. Das Gestell dieser groſsen Kugeln ist von dem des Fundamentalelektrometers nur durch die Gröſse der Theile verschieden, auſser daſs der Fuſs von einer der Maschine angemessenen Höhe und Form seyn muſs, und der Leiter nicht ganz im Verhältniſs der Kugeln vergröſsert zu werden braucht. Wenn das Fundamentalelektrometer 40° zeigt, so muſs das Megameter nur 4° zeigen, und dieses Verhältniſs bewirkt man durch das Gegengewicht. Man bringt nämlich beide Elektrometer an den ersten Leiter der Maschine, und läſst dieselbe stufenweise wirken, bis die Kugel des Fundamentalelektrometers auf 40° steht. Zeigt alsdann das Megameter auf seiner Scale 4°, so ist es richtig, wo nicht, so muſs man es durch das Gegengewicht dahin bringen, indem man entweder die Gröſse der Lackkugel oder die Länge des Glasstäbchens verändert. Bei dieser Einrichtung werden die Grade des Megameters zehnfache des Elektrometers seyn. De Luc bemerkt hierbei, daſs die starken Grade der E., welche über die Scale seines Fundamentalelektrometers hinausgehen, wegen der starken Zerstreuung in der Luft überhaupt sehr schwankend und beständigen Sprüngen und Fällen unterworfen sind. Auch sey es, wie er bemerkt, sehr schwer, den stärksten Grad der Elektrisirung, dessen eine Maschine fähig ist, zu bestimmen, denn, wenn man schnell drehe, so schwinge die Kugel des Megameters so stark, daſs man über nichts urtheilen könne; drehe man aber langsam, oder vermindere man die Anzahl der einsaugenden Spitzen am

ersten Leiter, so bleibe man ohne Zweifel unter dem stärksten Grade der Elektrisirung zurück.

Was die *Mikrometer* betrifft, so giebt de Lüc davon zwei verschiedene Arten an, deren Pendel eben so lang und von gleicher Einrichtung wie die Pendel des Fundamentalelektrometers sind, weil sie diesem substituirt werden müssen. Aber die Kugeln sind von verschiedener Größe und Substanz. An dem ersten Mikrometer ist die Kugel von Hollundermark von 4,75 Linien (0,42 engl. Zoll) im Durchmesser, und hat statt eines Strohhalmes einen Grashalm zum Stäbchen. Das Glasstäbchen zum Gegengewichte ist dünner und kürzer, und hat am Ende bloſs eine kleine mit dem Finger abgerundete Masse Siegellack. Wenn dieses Mikrometer in Verbindung mit einem Fundamentalelektrometer ist, so muſs seine Kugel sich auf 40° erheben, wenn die andere sich auf 4° erhebt, wodurch die Grade desselben Zehntheile von den Graden des Fundamentalelektrometers werden. Des zweiten Mikrometers Kugel ist gleichfalls von Hollundermark, hat aber nur 2,5 Linien (0,22 engl. Zoll) im Durchmesser; das Werkzeug selbst ist sonst in allem dem ersten ähnlich. Das Pendel desselben wird vermittelst des Gegengewichtes so justirt, daſs es in Verbindung mit dem ersten Mikrometer 40° angiebt, wenn dieses nur 4° angiebt. Auf diese Weise werden seine immer auf derselben Scale angezeigten Grade Hunderttheile von denen des Fundamentalelektrometers. Noch ist zu erinnern, daſs man bei den Pendeln dieser beiden Mikrometer, weil sie so kleine Kugeln haben, die unbewegliche Kugel m so weit an die bewegliche n anrücken muſs, daſs sie dieselbe in ihrer verticalen Lage berühre. Das letztere Mikrometer zeigt, wenn es nicht recht gemacht ist, eben die Empfindlichkeit, wie das oben beschriebene Flaschenelektrometer Cavallo's.

Da in der Angabe de Lüc's alles, was sich auf Verfertigung seines Elektrometers bezieht, genau nach Maſs und Gewicht bestimmt ist, so scheint damit der wichtige Zweck erreicht zu seyn, dieser Anweisung gemäſs übereinstimmende Elektrometer verfertigen zu können. Indeſs möchten sich doch in der Ausführung selbst beinahe unüberwindliche Schwierigkeiten finden, da auch nur ganz kleine kaum vermeidliche Abweichungen in dem Gewichte der Kugeln, in ihrer Krümmung, in ihrer Beweglichkeit, in ihren Aufhängungspuncten u. s. w. schon von merklichem Einflusse seyn dürften. So verdienstlich

daher auch de Lüc's Bemühungen erscheinen, so hat das von ihm angegebene Fundamentalelektrometer keinen Eingang in die physikalischen Apparate gefunden, wozu denn allerdings der Umstand mit beigetragen haben mag, daſs genaue Bestimmungen der Stärke der E. im allgemeinen von viel geringerem Interesse sind, als z. B. genaue Bestimmungen der Temperatur, des Drucks der Luft, der Feuchtigkeit u. s. w.

An de Lüc's Bemühungen schlieſsen sich am unmittelbarsten diejenigen von Volta an, dem wir nicht bloſs ein sehr brauchbares, auch jetzt noch häufig angewandtes Elektrometer verdanken, sondern welcher gleichfalls sein vorzügliches Augenmerk darauf richtete, dieses Instrument zu einem genauen Maſse zu erheben, und in den Stand zu setzen, harmonirende Instrumente dieser Art zu verfertigen[1].

Zur Beobachtung geringer Grade der E. und besonders der Luftelektricität bedient sich Volta statt der von Canton, Cavallo, de Saussüre in Anwendung gebrachten Metalldrähte mit Kork- oder Hollundermarkkügelchen bloſser Strohhälmchen ohne Kugeln. Diese werden in leicht beweglichen Ringen von feinem Metalldrahte nahe neben einander (nicht dicht an einander, weil ihre dann eintretende Anhaftung durch die Repulsivkraft der schwachen Grade von E. nicht überwunden werden kann) in vierseitigen gläsernen Flaschen von 20—26 Pariser Linien Breite aufgehängt, deren eine Seitenfläche mit einem Papierstreifen versehen wird, worauf sich die Scale befindet, um die Divergenzen zu messen. Man kann nun, indem man die Strohhälmchen von einer bestimmten Länge und Dicke nimmt, auch den Graden gleiche Länge giebt und in den Flaschen dieselben Dimensionen beobachtet, solche Elektrometer vollkommen übereinstimmend mit einander erhalten, und durch Abänderung der Dicke, vorzüglich aber der Länge der Strohhälmchen diesen Instrumenten verschiedene mit einander vergleichbare Grade der Empfindlichkeit ertheilen. Zu den empfindlichsten nahm Volta Strohhälmchen von 2 Par. Zoll Länge,

---

1 Die nähere Mittheilung hierüber findet sich in seinen an Lichtenberg in Göttingen gerichteten Briefen, in Brugnatelli Biblioteca fisica d'Europa und daraus übersetzt unter dem Titel: Alex. Volta meteorologische Briefe mit Anmerkungen des Herausgebers. Leipzig 1793. 8.

und $\frac{1}{10}$ Linien Dicke, doch äufserte ein kleiner Unterschied in der Dicke keinen merklichen Einfluſs, indem Strohhälmchen, deren Dicke $\frac{1}{8}$ und $\frac{1}{4}$ Linie betrug, auf 20 Grade nur um einen Grad von einander differirten. Für einen Grad der Scale nahm er $\frac{1}{2}$ Par. Linie Länge. Nimmt man die Strohhälmchen recht dünn, so können sie einander mit ihren Achsen um so näher gebracht werden, ohne sich zu berühren. Für ein weniger empfindliches Elektrometer werden die Strohhälmchen von einer Länge von einem Par. Zoll und von einer verhältniſsmäſsig gröſseren Dicke genommen, auch kann man ihr Gewicht dadurch vermehren, und die Empfindlichkeit des Elektrometers vermindern, daſs die kleinen Metalldrähte, die in sie hineingesteckt werden, um sie mit ihren ringförmigen Enden aufzuhängen, von gröſserer Länge genommen werden. So richtete sich Volta ein zweites Elektrometer zu, an welchem 0,5 Par. Linien Divergenz als 1° gerechnet = 5° des empfindlichsten war, und ich selbst besitze eine solche Folge von 3 Strohhalmelektrometern, wobei die Grade von gleicher Länge in den Verhältnissen von 1; 5 und 20 stehen. Man kann auch diese Strohhalmelektrometer mit einem Henly'schen Quadrantenelektrometer vergleichbar machen, das zur Messung stärkerer Grade von E. bestimmt ist. Volta läſst den in ein Kügelchen sich endigenden Zeiger zwischen zwei graduirten Halbkreisen spielen, wodurch die Lateralrepulsion am besten vermieden wird, die bei der gewöhnlichen Einrichtung statt findet. Sein Vorschlag, solche Quadrantenelektrometer vergleichbar zu machen, ist sehr einfach durch Feststellung zweier *fester Puncte*, und eben damit eines Fundamentalabstandes, welcher in gleiche Theile getheilt wird. Der eine Punct ergiebt sich von selbst; er ist derjenige, bei welchem der Zeiger sich in seiner natürlichen Lage befindet, die bei 0 E. statt findet. Hier wird auch das 0 der Scale angeschrieben. Der zweite feste Punct bei 45° des *Halbkreises* wird durch einen Grad von el. Anziehung bestimmt, welcher stets von gleicher Stärke erhalten werden kann. Dazu schlägt Volta vor, eine messingene Platte von 5″ im Durchmesser und am Rande 3—4‴ dick zu nehmen, an einen recht empfindlichen Waagebalken aufzuhängen, so daſs sie gerade zwei Pariser Zolle von der Oberfläche einer unterhalb befindlichen, mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden Metallplatte oder auch nur eines recht ebenen Tisches absteht,

und eine Leidner Flasche so weit zu laden, daſs die E., welche sie dieser isolirt aufgehängten Scheibe mittheilt, eine hinlänglich starke Anziehung veranlaſst, um dadurch eben das Gewicht von 12 Gran zu überwinden. Diese Spannung der Leidner Flasche giebt dann den zweiten Fundamentalgrad des Quadrantenelektrometers, dessen Zeiger durch Vergröſserung oder Verkleinerung der anhängenden Kugel so zugerichtet werden kann, daſs er dadurch gerade auf 35° gehoben wird. Vermittelst einer Leidner Flasche und eines bloſsen Elektrophors, wird sich von einem nicht ganz ungeschickten Experimentator dieser Grad von el. Spannung ganz genau hervorbringen lassen. Alle so eingerichtete Quadrantenelektrometer werden nicht bloſs in den Fundamentalgraden, sondern auch in allen übrigen Graden mit einander übereinstimmen. Man kann nun auch ein solches Quadrantenelektrometer mit dem Strohhalmelektrometer comparativ machen, doch bemerkt Volta, daſs das Quadrantenelektrometer nur vom 10ten bis zum 40sten Grade, und wenn von völliger Genauigkeit die Rede ist, nur vom 15ten bis 35sten Grade einen gleichförmigen und mit dem Gange des Strohhalmelektrometers vergleichbaren Gang habe, unterhalb und oberhalb dieser Grade aber Correctionen erfordern, indem es im Anfange viel langsamer steige, und bei den ersten Graden eben so viel E. nöthig sey, um den Zeiger um einen Grad zu heben, als zwischen 15 und 35 um 3 Grade. Indeſs meint er, wenn man auf diese durch Versuche auszumittelnde Abweichungen Rücksicht nähme, lasse sich das Henly'sche Quadrantenelektrometer durch seine ganze Scale mit dem Strohhalmelektrometer vergleichbar machen, und wenn man sich auf diese Weise eine Reihe von vier Elektrometern, nämlich zwei Flaschenelektrometer von Strohhälmchen und zwei Quadrantenelektrometer vorrichte, wovon 5 Grade des empfindlichsten = 1° des zweiten, 10 Grade von diesem zweiten = 1° des ersten und 5° von diesem = 1 Grade des zweiten Quadrantenelektrometers seyen, so sey man im Stande, damit 1450 Grade des empfindlichsten Elektrometers zu umfassen, und innerhalb dieser Grenzen die Stärke der E. mit Genauigkeit zu bestimmen.

Als durch die Entdeckung der galvanischen Verhältnisse und insbesondere durch die Erfindung der Volta'schen Säule die Aufspürung und genaue Bestimmung der E. in ihren schwächsten Intensitäten ein neues Interesse für die Physiker erhielt,

wendeten sich auch die Bemühungen derselben wieder auf die Vervollkommnung der Elektrometer, für welche seit VOLTA nichts weiter geschehen war. MARECHAUX machte zu diesem Zweck ein sogenanntes Elektromikrometer bekannt[1], welches von dem schon oben beschriebenen durch PARROT verbesserten Bennet'schen Elektrometer in der Hauptsache wenig abweicht. In einem ungefähr 1,5 Z. weiten und 5 bis 6 Z. hohen Glascylinder hängt ein Silberblättchen an einer kleinen Zange herab, die sich höher oder niedriger bringen läfst, je nachdem die Länge des Silberblättchens es erfordert. Auch läfst sich die Vorkehrung, welche die Zange trägt, horizontal bewegen, und das Silberblättchen sich dadurch in beliebige Entfernung von einer Kugel bringen. Durch den gläsernen Cylinder ist ungefähr 1″ über der Glasscheibe, auf der er befestigt ist, ein kleines rundes Loch gebohrt, durch welches das Ende einer Mikrometerschraube geht, die von der Dicke eines starken Federkiels und sehr sorgfaltig geschnitten ist. Sie führt ein sehr feines Gewinde, 50 Gänge auf einen rheinländischen Zoll; die Schraubenmutter, um alles Wanken zu verhüten, ist wenigstens $\frac{1}{4}$″ lang. Das Ende dieser Schraube trägt eine kleine Kugel, die erst darauf geschraubt wird, wenn dieses Ende durch die Oeffnung im Glase durchgesteckt ist. Die Schraube selbst trägt eine Scheibe 3,5 Z. im Durchmesser, die in 360 Theile getheilt ist, folglich jede Umdrehung noch in 360 Theile theilt, wodurch man also im Stande ist, die el. Wirkungskreise in Achtzehntausendteln eines rheinl. Zolles zu bestimmen. An dem Gestelle, woran die Mutter der Mikrometerschraube befestigt ist, befindet sich eine kleine Säule, die über die Endscheibe der Schraube hervorragt, und eine Schneide trägt, die den Grad genau bezeichnet.

Dieses Elektrometer dient vorzüglich dazu, um die el. Spannung sowohl einzelner Plattenpaare als auch Volta'scher Säulen zu messen, indem man, nachdem man erst das Silberblättchen mit der Kugel der Mikrometerschraube in Berührung gebracht hat, und dann die eine Metallplatte, oder den einen Pol einer Säule mit der Zange, woran das Silberblättchen hängt, die andere Platte aber, oder den Pol mit der Mikrometerschraube in Verbindung setzt, untersucht, in welcher Entfernung der

---

1 G. XVI. 115.

Kugel vom Silberblättchen, indem man die Mikrometerschraube vermittelst einer gläsernen Handhabe langsam rückwärts schraubt, noch Anziehung statt findet. Bei einem einzigen Plattenpaare fand Marechaux auf diese Art noch eine Anziehung bei einer Entfernung der Kugel vom Silberblättchen um 60—80 Grade der Mikrometerschraube, oder von $\frac{1}{300}$ eines rheinländischen Zolles. Marechaux hatte auf die Beobachtungen mit diesem Mikroelektrometer den Satz gegründet, daſs die Volta'sche Säule, namentlich die trockene, in der el. Intensität ihrer Pole unter denselben Umständen wechsle, und gleichsam eine Ebbe und Fluth zeige. Dies veranlaſste Erman[1] zu einer genauen Kritik dieses Instrumentes, worin er auf mehrere Quellen des Irrthums und der Unsicherheit hinwies, die die Einrichtung dieses Instrumentes mit sich führt, innerhalb deren Grenzen jene Unterschiede der Intensität, auf welche Marechaux den erwähnten Satz gegründet hatte, allein schon gelegen seyn könnten. Da nämlich alle jene Vergleichungen wesentlich auf der Sicherheit und Unwandelbarkeit des Nullpunctes jenes Elektrometers beruhen, so werden sie durch die unmerkliche Verrükkung desselben täuschend. Dieser Nullpunct ist nämlich derjenige, wo der frei herabhängende, nicht geladene Metallstreifen den Scheitelpunct der Krümmung des Knopfes eben berührt. Er verändert sich oft schon innerhalb einer Stunde um 20—40 Grade jener oben angeführten Eintheilung, was durch mancherlei zufällige Umstände leicht bewirkt werden kann, da jeder solcher Grad um $\frac{1}{24000}$ eines rheinl. Zolles Verrückung anzeigt. Solche Ursachen können seyn eine auch noch so geringe Abweichung der Unterlage, auf welcher das Instrument steht von ihrer Stellung beim Anfange der Reihe von Beobachtungen, die in einem bewohnten Zimmer leicht bis zu jenem Grade statt finden kann, vorzüglich durch hygrometrische und pyrometrische Veränderungen; ferner die pyrometrische Ausdehnung des Glases und Metalles des Instrumentes selbst, die Erschütterung, die man um mehrere Beobachtungen nach der Reihe anstellen zu können, dem Instrumente geben muſs, um die Adhäsion des Silberblättchens an den Knopf aufzuheben. Von besonders nachtheiligem Einflusse als Quelle von Täuschungen kann aber noch ein Luftstrom werden, der durch die freie ring-

1 Gilb. XXV. S. 18.

förmige Oeffnung an der Seite des Glasgehäuses rund um die Welle eindringen kann, und Erman fand, dafs durch zufällig veranlafste Bewegungen der äufsern Luft, selbst durch das Zuschlagen einer Thüre in einem zweiten und dritten Zimmer sehr oft das Anschlagen des Silberblattes bemerkt wurde aus einer Ferne, die das dermalige Mafs der el. Intensität einer Säule, die geprüft wurde, um mehrere hundert Grade übertraf. Endlich mufs auch der nothwendig sehr veränderliche Grad der Isolirung, welcher die äufsere Fläche des gläsernen Gefäfses, worin der Streifen hängt, gewährt, die Anzeigen des Instrumentes bei demselben Grade el. Intensität sehr veränderlich machen, da die Isolirung durch das Glas nie absolut ist, und das Elektrometer bei der Prüfung der el. Spannung der Pole einer Volta'schen Säule stets nur den Ueberschufs des nicht durch die Glasfläche abgeleiteten Effects anzeigt. Endlich ist noch zu bemerken, dafs wenn das negative Metallblättchen in einer solchen Entfernung von dem positiven Knopfe hängt, dafs es bei dem gegebenen Zustande der Säule, deren el. Intensität geprüft werden soll, und des Instrumentes nicht bis zur Berührung angezogen werden kann, eine jede zufällige, von aufserwesentlichen Ursachen hervorgebrachte Oscillation des Blattes dieses Anschlagen bewirken wird, indem durch diese Bewegung das elektroskopische Blatt der Anziehungssphäre des geladenen Knopfes näher gebracht wird, und nunmehr aus dieser geringeren Entfernung zum Anschlagen gelangen kann, ohne dafs sich in der absoluten Intensität der geprüften Säule das Mindeste geändert hätte.

Ich hatte mich schon vor Marechaux einer ähnlichen ganz einfachen Einrichtung bedient, um mit Hülfe des Condensators die Stärke der Spannung zu messen, welche die verschiedenen Erreger des Galvanismus, vorzüglich die Metalle und Erze in ihrer Berührung mit einander geben[1], indem ich in einer Glocke von einem Metallstifte, der mit der messingenen Fassung des Halses, auf welche die Condensatorplatte aufgeschraubt werden konnte, in Verbindung war, ein Goldblättchen herabhängen liefs, welchem eine messingene Stange mit einer vergoldeten Kugel an ihrem Ende, die durch eine seitliche Oeffnung der Glocke hindurch gesteckt ist, gegenüber steht. Diese Stange

---

1 S. *Galvanismus und Spannungsreihe.*

bewegt sich mit Reibung durch die mit Lederscheiben ausgefütterte Seitenöffnung der Glocke und ist in Viertellinien abgetheilt. Die verschiedenen Entfernungen der Kugel vom Goldblättchen, bei welchen dieses eben anfängt von seiner verticalen Richtung etwas abzuweichen, aber schon einen merklichen Winkel damit macht, endlich an die Kugel anschlägt, geben eben so verschiedene el. Intensitäten an, und es können in dieser Hinsicht auch die kleinsten Verschiedenheiten mit viel grösserer Sicherheit und Genauigkeit bestimmt werden, als nach der Gröfse des Abstofsungswinkels, sey es nun zweier Goldblättchen oder eines einzelnen Goldblättchens in Beziehung auf einen unbeweglichen Metallstab.

Eine sinnreiche Anwendung der Volta'schen Säule um vermittelst eines Goldblättchens nicht blofs die schwächsten Grade von E. zu entdecken, sondern auch sogleich ohne weitere Proben die Art der untersuchten E. zu bestimmen, brachte zuerst Georg Bernh. Behrens[1] in Vorschlag, welche später nach Erfindung der s. g. trockenen Säule Zamboni's durch v. Bohnenberger wieder aufgefafst und verbessert, dem nach ihm genannten *Bohnenberger'schen Elektrometer* seinen Ursprung gegeben hat[2]. Dasselbe ist in einem 3,5 Pariser Zolle hohen und 2,5 Pariser Zoll weiten cylindrischen, mit einem messingenen Deckel versehenen Glase enthalten. Zwei trockne el. Säulen, jede aus 400 Scheiben zusammengeleimten Gold- nnd Silberpapiers von 3''' Durchmesser bestehend und in einer gefirnifsten Glasröhre eingeschlossen, sind die eine mit ihrem positiven, die andere mit ihrem negativen Pole an den Deckel angeschraubt, so dafs sie, wenn der Deckel aufgesetzt ist, vertical herunterhängen, und auf dem Deckel ist die Verschiedenheit der beiden anliegenden Pole durch + und — angezeigt. Am untern Ende jeder Säule befindet sich eine etwas vorstehende abgerundete messingene Fassung, welche noch $\frac{1}{4}$ Z. von dem Boden des Glasgefäfses und einige Linien von dem Rande der Glasröhre absteht, und mit der das untere Ende der Säule in leitender Gemeinschaft sich befindet. Die Achsen der beiden Säulen

1 Beschreibung eines neuen Elektrometers in G. XXIII. S. 24.

2 Die erste Beschreibung desselben findet sich in den Tübinger Blättern für Naturwissenschaft und Arzneikunde von Authenrieth und Bohnenberger Bd. I. S. 380, und daraus in Gilb. Ann. Bd. I. S. 190.

sind 1″ 7‴ von einander entfernt, und können einander noch näher gebracht werden. Der elektroskopische Körper ist ein 2,25 Z. langes und 3‴ breites Goldblättchen, welches genau in der Mitte zwischen beiden Säulen und mit ihren Achsen parallel an dem unteren Ende eines Drahtes hängt, der sich in einer innen und aufsen gefirnifsten Glasröhre befindet, welche durch den Mittelpunct des Deckels geht. Dieser Draht ist durch einen Korkstöpsel gesteckt, welcher die Röhre oben verschliefst, und berührt sie besserer Isolirung halber nirgend. Er endigt sich oben mit einer Kugel, auf welche sich eine Condensatorplatte aufschrauben läfst.

Will man dieses Elektrometer gebrauchen, so verbindet man den metallenen Deckel durch einen Draht mit der Erde, und berührt den Knopf des Drahtes mit einem guten Leiter, um sicher zu seyn, dafs er keine freie E. behalten habe. Da die metallenen Fassungen, zwischen denen das Goldblättchen genau in der Mitte hängt, in gleichem Grade die eine positiv, die andere negativ el. sind, so ziehen sie das Goldblättchen mit gleicher Kraft an, bis diesem durch den Draht, an welchem es hängt, E. zugeführt wird. Sogleich nähert es sich der Fassung, welche in dem entgegengesetzten el. Zustande ist, indem es von ihr angezogen, von der andern abgestofsen wird, kommt mit ihr in Berührung, wird dann von ihr abgestofsen, schlägt an die andere Fassung an, und geht so lange zwischen beiden hin und her, bis es sich an eine der beiden Säulen anhängt, von der es durch ableitende Berührung des Drahtes und eine kleine Erschütterung leicht wieder loszumachen ist. Die Art der zu untersuchenden E. zeigt das Zeichen derjenigen Säule auf dem Deckel, deren unterem Ende sich das Goldblättchen zuerst nähert, oder deren unteres Ende bei stärkerer E. zuerst berührt wird. Körper, deren E. stärker ist, nähert man aus einer grofsen Entfernung dem Elektrometer, schwächere elektrische bringt man näher, und nach Umständen mufs man sie sogar in unmittelbare Berührung mit dem Knopfe setzen und auch wohl die Condensation durch Aufschrauben des Condensators zu Hülfe nehmen, um das Goldblättchen in Bewegung zu bringen.

Eine Unbequemlichkeit bei dieser Einrichtung des Elektrometers besteht darin, dafs das Goldblättchen sich leicht an die eine oder andere Fassung und die Glasröhre selbst, welche sich

von dem unteren Pole aus allmälig mit E. ladet, anhängt, und meistens nicht ohne Zerreifsung davon getrennt werden kann. Diesem Nachtheile kann man durch eine kleine Abänderung in der Einrichtung abhelfen, die ich auch bei einigen Elektrometern dieser Art schon ausgeführt gefunden habe, dafs man nämlich die kleinen trockenen Säulen auf den messingenen Boden des Glasgehäuses befestigt, und von ihren nach oben stehenden Polen Metalldrähte, die in runde Plättchen sich endigen, gehen läfst, zwischen denen das Goldblättchen mit seinem untern Ende sich befindet. Becquerel[1] hat durch folgende Abänderung dem erwähnten Nachtheile des Anhängens an das Glas zu begegnen und die Empfindlichkeit des Instruments noch zu erhöhen gesucht. Anstatt zweier Zambonischer Säulen bedient er sich blofs einer einzigen, die auf einem hölzernen Untersatze in horizontaler Lage befestigt ist. An jedem ihrer Pole ist in verticaler Richtung eine längliche Metallplatte von 7—8 Centimetern (ohngefäht 3 Zoll) Länge befestigt, und das Goldblättchen zwischen diesen beiden Platten aufgehängt. Da das Goldblättchen ihnen auf diese Weise alle seine Puncte darbietet, so mufs die Einwirkung, die es von denselben erfährt, weit beträchtlicher seyn, als wenn es blofs mit seinem untern Ende der Wirkung der Pole zweier Säulen ausgesetzt ist. Die Empfindlichkeit dieses Apparates ist bei der angegebenen Einrichtung so grofs, dafs eine mit Tuch geriebene Glasröhre bei trockenem Wetter schon darauf wirkt, wenn man sie nur in einer Entfernung von 8 bis 10 Fufs darüber hält, während bei der Bohnenberger'schen Einrichtung diese Wirkung erst in einer Nähe von 3 Fufs merklich wird. Der el. Zustand der Haare zeigt sich schon auf mehrere Fufs Entfernung von Einflufs darauf, und es ist daher unerläfslich, diesem Einflusse vorzubeugen, wenn man sich mit ins Feine gehenden Untersuchungen beschäftigt. Schweigger fügt in einer Anmerkung zu dieser Verbesserung Becquerel's einen Vorschlag hinzu, dieses Elektrometer für Reisen zur Untersuchung der Luftelektricität tragbar zu machen, der indessen nicht ganz klar ist. Mir scheint dieser Zweck einigermafsen erreicht werden zu können, wenn man das Goldblättchen mit einer oben und unten offenen messingenen Röhre umgäbe, die auf und abgeschoben werden kann, und die beim Gebrauch

1 Schweigg. J. N. R. XII. S. 73.

heraufgezogen würde, um dem Goldblättchen seine freie Bewegung zu verschaffen.

Eine andere Classe von Elektrometern, als die bisher betrachteten, hat mehr ausschliefslich die Absicht, die Stärke der el. Funken und Erschütterungsschläge zu messen, oder wenigstens Funken und Schläge von einer gewissen vorgeschriebenen Stärke hervorzubringen. Von diesen Elektrometern ist das nach einem ersten sehr wenig zweckmäfsigen Vorschlage CANTON's, durch die Anzahl der Funken, welche eine leidner Flasche beim allmäligen Entladen giebt, die Stärke dieser Ladung zu messen, von LANE [1] angegebene s. g. Ausladeelektrometer auch jetzt noch in häufiger Anwendung. An den Knopf F einer Verstärkungsflasche wird in horizontaler Richtung ein gläserner, wohlüberfirnifster Stab FD angebracht, der in die messingene Röhre D eingekittet ist. Aus D geht ein starker Messingdraht senkrecht hervor, dessen Ende so hoch hinaufreicht, als der Mittelpunct des Knopfes B steht, der noch über dem Knopfe F auf dem weiter hinauf reichenden Stabe der Flasche befestiget ist. Auf diesem Drahte ruht eine messingene Hülse, durch welche man das Stäbchen CE, welches an dem einen Ende den Knopf C, am andern Ende den Ring oder Haken E hat, vor- und rückwärts schieben kann, um den Knopf C in jede beliebige Entfernung von dem Knopfe B zu bringen. Auf dem Stäbchen CE wird eine Eintheilung angebracht, um die Entfernung des Knopfes B und C desto genauer abmessen zu können. Die Flasche sey so an den ersten Leiter gesetzt, dafs sie ihn mit dem Knopfe B berühre, der Knopf C stehe einen halben Zoll von B ab, und von E bis an die äufsere Belegung bei I sey eine leitende Verbindung gemacht. Wird unter diesen Umständen die Elektrisirmaschine in Bewegung gesetzt, so ladet sich die Flasche. Sobald aber die Ladung so stark ist, dafs sie durch die Entfernung BC schlagen kann, so erfolgt ihre Entladung. Fährt man fort, die Maschine zu drehen, so ladet sich die Flasche auf's neue, bis die Entladung wieder bei der vorigen Stärke der Ladung erfolgt. So kann man mehrere Schläge von immer gleicher Stärke erhalten und durch Körper führen, die in die leitende Verbindung gebracht werden. Sollen die Schläge stärker werden, so entfernt man C weiter von B. Es kann dieses Aus-

Fig. 143.

1 Phil. Transact. Vol. LVII. S. 45.

lade-Elektrometer auch ein abgesondertes Stück für sich ausmachen, dessen Glasröhre F an ihrem anderen Ende in einen messingenen Knopf endigt, der in einen kleinen Stiel ausgeht, den man in eine dazu passende Hülse des Knopfes jeder beliebigen Leidner Flasche stecken kann. Vorzüglich nützlich ist dieses Instrument um die Stärke der el. Erschütterungsfunken bei ihrer arzneilichen Anwendung mit der gröfsten Genauigkeit abzumessen, und mit den kleinsten Graden derselben den Anfang zu machen [1].

Noch gebräuchlicher, vorzüglich zur Bestimmung der Stärke der Ladung von Batterieen ist das s. g. *Adams'sche Ladungselektrometer*, das aber mit mehr Recht das Brook'sche genannt zu werden verdient, da John Brook der eigentliche Erfinder desselben ist [2]. Nach der von Brook angegebenen Einrichtung ist dasselbe bestimmt, die Stärke der abstofsenden Kraft an einer Leidner Flasche oder Batterie, aber auch an einem elektrisirten Conductor, sowohl in Granen als in Graden, die auf einem Zifferblatte verzeichnet sind, anzugeben. Die Arme g. 1 und g. 2 nebst den Kugeln C und E sind alle hohl, und von dünnem Messingblech verfertigt, damit sie so leicht als möglich ausfallen. Sie sind beide beweglich, während der etwas gekrümmte Arm g. 3 mit der Kugel F und der Arm g. 4 mit der Kugel G unbeweglich sind. Der Arm g. 2 mit seiner Kugel E stellt eigentlich eine Schnellwaage vor, an welcher ein breiter Ring a verschiebbar ist. Innerhalb der hohlen Kugel D ist die Axe dieser Schnellwaage und der kürzere Arm, woran sich ein Bleigewicht befindet, das mit dem langen Arme und der Kugel daran nebst dem Schieber, wenn er eine bestimmte Lage am Arme hat, genau im Gleichgewichte ist, so dafs der Arm g. 2 in horizontaler Lage sich befindet, und die Kugel E ohne Gewicht und Druck auf der Kugel G ruht. Der Stand des Schiebers in dieser Lage wird mit 0 bezeichnet. Dann bringt man, nachdem man

Fig. 144.

---

1 Vergl. *Elektricität, medicinische.*

2 Eine erste Beschreibung davon findet sich in dem 72sten Bande der Philos. Transactions, hierauf hat Adams in seinem Essay on electricity (Versuch über die Elektricität S. 221) eine Abbildung davon geliefert, doch findet sich die ausführlichste und durch zwei Kupfertafeln erläuterte Beschreibung desselben in einer eigenen Schrift Brook's. Joh. Brook's vermischte Erfahrungen über E. u. s. w. übers. von Dr. Karl Kühn. Leipz. 1790.

die Kugel G mit ihrem Arme vorher abgeschraubt hat, unter die Kugel E eine Waagschale, schiebt den Schieber a bis ans Ende vor, und untersucht, wie viele Grane in der andern Waagschale nöthig sind, um die Kugel E eben in die Höhe zu heben. Indem man ferner einen Gran nach dem andern herausnimmt, und jedesmal durch einen Versuch bestimmt, wo der Schieber stehen müsse, um gerade wieder das Gleichgewicht hervorzubringen, oder die Kugel E eben zu erheben, und an dem Rande des Schiebers jedesmal einen Strich auf dem Stiele macht, erhält man eine Eintheilung in Granen, welche den Druck oder das Gewicht des Schiebers in seinen verschiedenen Lagen von 0 bis zur Kugel, wo z. B. 60 Grane zur Wiederherstellung des Gleichgewichts nöthig gewesen waren, anzeigt. Theilt man nun dem Instrumente E. mit, so wird die Kugel E mit ihrem Arme g. 2 abgestofsen werden, und die Gröfse der abstofsenden Kraft in Granen angegeben seyn, durch den Stand des Schiebers, bei welchem die Kugel eben noch gehoben wird, so dafs wenn z. B. der Schieber bei 30 steht, die abstofsende Kraft, die zwischen den beiden Kugeln E und G und den Armen g. 2 und g. 4 thätig ist, gerade 30 Grane beträgt. Der andere bewegliche Arm g. 1 und seine Kugel C wird zugleich von dem festen Arme g. 3 und seiner Kugel F abgestofsen, wenn der Arm g. 2 durch Verbindung mit einem elektrisirten Körper in die Höhe sich hebt. Dieser Arm g. 1 ist in den unteren Theil der Axe eines Rades eingeschraubt, das in ein Getriebe eingreift, an welchem sich der Zeiger des Zifferblattes befindet. An dem obern Theile der nämlichen Axe wird ein Bleigewicht befestigt, welches dem Arme g. 1 und seiner Kugel das Gegengewicht hält, und wenn die abstofsende Kraft der E. zu wirken aufhört, den Arm jedesmal in seine vorige Lage zurückbringt. Das Verhältnifs der Zähne des Rades und der Einschnitte des Getriebes ist so getroffen, dafs der Zeiger sich einmal durch die Bewegung des Arms g. 1 völlig um seine Axe herumdreht, wenn sich die Kugel C durch einen Bogen von 90 Graden bewegt. In so viele Grade ist auch das Zifferblatt eingetheilt. Mit dieser Eintheilung, die auf dem äufsern Kreise angebracht ist, und auf welche der längere Arm des Zeigers hinweiset, kann man auch eine Eintheilung correspondirend machen, welche die abstofsende Kraft in Granen mifst. Für jeden Winkel der Divergenz des beweglichen Arms g. 1 und seiner Kugel C ist ein gewisser

Stand des Schiebers nöthig, um die Schnellwaage gerade in horizontaler Richtung zu halten, so dafs die Kugel von G weder absteht, noch auf dieselbe drückt. Die Menge von Granen, welche der Schieber in seiner jedesmaligen Lage unter der angegebenen Bedingung anzeigt, ist das Mafs für die abstofsende Kraft. Die Zahl, welche diese Menge anzeigt, trägt man auf den innern Kreis da auf, wo dann der kürzere Arm des Zeigers, der sich auf gleiche Weise mit dem längeren umdreht, jedesmal steht. Hat man auf diese Weise die Eintheilung des Kreises nach Granen regulirt, so kann man die Schnellwaage mit dem Arme g. 4 der an die Vorrichtung angeschraubt ist, auch ganz wegnehmen, und sich blofs des andern Haupttheiles, der im Wesentlichen nichts anders, als ein *Quadranten-Elektrometer* ist, bedienen. So sind auch die nach Adams benannten Elektrometer, wie sie bei Batterie-Versuchen gebraucht werden, eingerichtet, und in diesem Falle mufs die Kugel F an ihrem untern Theile mit einem kurzen messingenen Stiele versehen seyn, um das Elektrometer bequem auf die Kugel einer Flasche aufstecken zu können. Statt dessen kann das Elektrometer auch zum Aufstecken auf den Knopf einer Flasche seitwärts mit einem Ansatze an das Uhrgehäuse bei A versehen seyn, der mit einem in einem Charniere beweglichen Stiele verbunden ist. Bei diesem Aufstecken ist es jedoch nothwendig, dafs das ganze Instrument hinlänglich hoch über der Flasche stehe, damit die abstofsende Kraft auf g. 1 und ihre Kugel C von keiner andern Seite aus wirke, als von g. 3 und ihrer Kugel F. Man sieht leicht ein, dafs solche Elektrometer nur dann vergleichbar und in ihrer Sprache übereinstimmend sind, wenn die Dimensionen und Gewichte aller ihrer Theile vollkommen mit einander übereinstimmen, was allerdings in der Ausführung mit grofsen Schwierigkeiten verbunden seyn dürfte. Indefs sind sie für den einzelnen Experimentator bei Batterieversuchen sehr brauchbar, da sie für eine gegebene Gröfse von belegter Glasfläche die verschiedenen festen Puncte von Spannung anzeigen, bei welchen durch die Entladung derselben bestimmte Wirkungen hervorgebracht werden können. So wie nun das Elektrometer ohne die Schnellwaage gebraucht werden kann, so kann man sich auch blofs dieser letzteren bedienen, vorzüglich um die abstofsende und anziehende Kraft, welche der erste Leiter einer Elektrisirmaschine ausübt, zu messen. Die Hol-

Fig. 145. ländischen Physiker Deimann und Paets van Troostwyk haben[1] eine bequeme Einrichtung dazu angegeben. Die Schnellwaage cgd welche hier ein Ganzes für sich ausmacht, ruht nämlich noch auf dem Theile ehf, der ebenfalls aus zwei hohlen Kugeln und einem hohlen Cylinder von Messing, von eben der Gröfse als bei der Waage besteht (die Kugeln hatten 4 Zoll, der hohle Cylinder eine Länge von 10 Zoll und einen Durchmesser von 0,75 Zoll). Die eine von diesen Kugeln, nämlich e ist oben und unten mit einem Messingdrahte versehen, in welchen Schraubengänge geschnitten sind, in den obersten ist die Kugel C der Waage geschraubt, der untere dient dazu, um das Elektrometer auf dem Conductor oder auf einem hölzernen Gestelle zu befestigen. Uebrigens ist cgd so mit efh verbunden, dafs beide Cylinder g und h sich in einer Verticalebene befinden, und die Kugel d, wenn sie durch Verschiebung des Ringes schwerer geworden ist, auf der Kugel b aufliegt. Um das Elektrometer auf den Conductor zu setzen, bedienten sie sich eines messingenen Plättchens, das so gebogen ist, dafs es an den Conductor anschliefst; auf dieses ist die Kugel e des Elektrometers geschraubt. In dieser Lage dient dasselbe zur Bestimmung der abstofsenden Kraft. Wenn die Anziehung untersucht werden soll, so wird das Elektrometer auf seinen hölzernen Fufs gesetzt, und man stellt es mit der Kugel d in einer gewissen Entfernung gerade unter eine Kugel von eben der Gröfse, die, damit man die anziehende und die abstofsende Kraft mit Kugeln von gleicher Gröfse untersuchen kann, absichtlich unten an die Kugel am Ende des Leiters gesteckt wird. In beiden Fällen untersucht man erst, wie weit der Ring oder das Gewicht i von c nach d verschoben werden kann, ohne dafs die Kugel d zu schwer wird, um von der Kraft, die der Conductor bei dem Umdrehen der Elektrisirmaschine erhält, noch aufgehoben zu werden; die Zahl, bei welcher der vordere Rand des Ringes steht, zeigt dann in Granen die abstofsende oder anziehende Kraft des Conductors an. Bei der Untersuchung der Stärke ihrer Elektrisirmaschine[2] durch eine Schnellwaage von den oben beschriebenen Dimensionen, erhielten die holländischen Physiker für die abstofsende positive Kraft 235 Gr.

---

1 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. S. 56 ff.

2 Die Beschreibung derselben s. *Elektrisirmaschine.*

für die negative Kraft 122 Gr., für die Anziehung durch die positive Kraft auf ¼ Zoll Abstand 60 Gr. und auf 3¼ Zoll 425 Gr., für die anziehende negative Kraft auf ¼ Zoll Abstand 60 Gr. und auf 2 und 2¼ Zoll Abstand 530 Gran. Ueberhaupt fanden sie, daſs von dem Abstande von ¼ Zoll bis auf eine gewisse Entfernung vom Conductor die anziehende Kraft bei dem negativen Conductor gröſser als bei dem positiven war, über diese Entfernung hinaus dagegen die positive Kraft wieder über die negative das Uebergewicht bekam. Die genannten holländischen Physiker haben auch noch[1] die Beschreibung und Abbildung eines von Cuthbertson erfundenen *Ladungselektrometers* mitgetheilt, das aber nur darin von dem Adams'schen abweicht, daſs die Kugel, welche durch den Abstoſsungswinkel die Gröſse der el. Spannung, und damit der Ladung anzeigt, statt in einer verticalen, in einer horizontalen Ebene sich bewegt. Noch weniger Eigenthümliches hat eine von eben demselben[2] angegebene Vorrichtung, in welcher Henly's Quadranten-Elektrometer, Lane's Auslade-Elektrometer und Brook's el. Waage gleichsam mit einander vereinigt sind.

Wirft man nochmals einen Rückblick auf alle bisher beschriebene Elektrometer, so ergiebt sich, daſs wir bis jetzt noch ein Instrument entbehren, welches den Physikern dieselben Dienste wie das Barometer, Thermometer oder auch nur das Hygrometer leistete, ein Instrument, das mit hinlänglicher Genauigkeit die Intensitäten der E. so abzumessen im Stande wäre, daſs die Anzeige desselben einen ganz bestimmten Werth hätte, ein Instrument ferner, für dessen Verfertigung die Regeln so fest bestimmt wären, daſs geschickte Mechaniker an den verschiedensten Orten darnach übereinstimmende Werkzeuge verfertigen könnten.

Wenn auch das Gesetz, nach welchem die Anziehung und Abstoſsung elektrisirter Körper durch die Entfernung bestimmt wird, mit vollkommener Sicherheit ausgemacht wäre, so wird es in der Ausübung doch fast unüberwindliche Schwierigkeiten machen, in der groſsen Scale elektrischer Intensitäten, von den leisesten Spuren, durch welche das empfindlichste Goldblattelektrometer eben noch in Bewegung gesetzt wird, bis zu der die-

1 In der mehrmals angeführten Schrift, S. 66.

2 Nicholson's Journ. of natur. Philos. Vol. II. p. 525.

selben mehrere Millionenmale übertreffenden el. Spannung des auf das Maximum elektrisirten ersten Leiters einer sehr kräftigen Elektrisirmaschine, wie z. B. der meinigen, die Funken von 18 Par. Zoll schlägt, die mannigfaltigen Bedingungen bei den verschiedenen, zur Messung dieser Intensitäten nöthigen Instrumenten, die auf ihre Sprache Einfluſs haben, auf eine gleiche und übereinstimmende Art zu erfüllen. Schon ein kleiner Unterschied z. B. in der Beweglichkeit der Strohhälmchen in ihren Aufhängungspuncten wird, wenn auch in Absicht der Länge und Dicke dieser Strohhälmchen, der Form des Gefäſses, der obern Fassung desselben, der Ableitungsstreifen zwischen zwei solchen Elektrometern die vollkommenste Uebereinstimmung statt fände, doch die Anzeigen derselben merklich von einander abweichen machen. Glücklicher Weise reichen bei der beständigen Fluctuation der E., deren Intensität in jedem Processe fast unaufhörlich wechselt, in deren Sphäre es keine so feste Puncte giebt, wie z. B. in derjenigen der Wärme, durch die irgend ein wichtiger Proceſs der Natur und Kunst wesentlich bedingt wäre, die annähernden Bestimmungen, welche uns unsere Elektrometer in ihrem gegenwärtigen Zustande geben, wenigstens für den praktischen Gebrauch zu, und bei aller ihrer Unvollkommenheit haben doch diese Instrumente wesentlich die Fortschritte der Elektricitätslehre befördert, wozu insbesondere der Artikel *Galvanismus* die Belege liefern wird[1].

P.

Elektrometrie

bezeichnet im Allgemeinen das Messen der Elektricität, und geschieht diesemnach mit denjenigen Werkzeugen, welche im

---

1 Zur Literatur S. J. A. de Lüc Neue Ideen über Meteorologie. Erster Theil. Berlin u. Stettin 1787. gr. 8. S. 306 ff.

Alex. Volta's meteorologische Briefe, aus dem Ital. mit Anmerkungen des Herausgebers. Erster Band. Leipzig 1793. 8.

Cavallo's Vollständige Abhandlung von der E. Leipz. 1797. II. Thl. S. 175.

Adams's Versuch über die E.

Heidmann's vollständige Theorie der E. Wien 1799. I. Thl. Drittes Hauptstück. Von den Elektrometern. S. 63.

Kühn's Geschichte der medicinischen und physikalischen E. S. 154 ff.

Priestley Geschichte d. E. übers. durch Krünitz. S. 89. 343 ff.

vorhergehenden Artikel beschrieben sind. Daselbst ist aber gleichfalls gesagt, daſs verschiedene sogenannte Elektrometer nicht eigentlich diesen Namen verdienen, sondern billig nur *Elektroskope* heiſsen müſsten, welches dann die Einführung eines bis jetzt nicht gangbaren Namens, *Elektroskopie*, zu erfordern scheint. Weil aber hierunter nichts anders gehören würde, als die Untersuchung der Anwesenheit von Elektricität überhaupt, so bedarf es weder dieser besonderen Bezeichnung, noch auch einer Erläuterung derselben. Weil ferner die galvanische Elektricität mit der gemeinen Reibungselektricität nach der jetzt bestehenden Ansicht der Physiker ihrem Wesen nach identisch ist, die Magnetnadel aber die geringsten Spuren von jener anzuzeigen und die Stärke derselben zu messen benutzt wird, so könnte auch das Verhalten dieser letzteren bei der Untersuchung der Elektrometrie mit berücksichtigt werden. Man hat dem hiernach construirten Werkzeuge aber den Namen *Galvanometer* gegeben, und da das Verhalten desselben mit dem der feinsten Elektroskope im Wesentlichen zusammenfällt, so wird es billig hier nicht besonders berücksichtigt. Endlich haben einige Elektrometer in ihrer Construction das Mittel, die Art der Elektricität, ob sie + oder — sey, jedesmal sogleich anzuzeigen. Man könnte daher die Sprache dieser Werkzeuge und die Mittel, deren man sich bedient, um auch vermittelst der übrigen die Art der vorhandenen Elektricität zu erforschen, unter die Elektrometrie rechnen. Weil dieses aber kein eigentliches Messen erfordert, und das Verfahren bei den verschiedenen Elektrometern schon angegeben ist, so wird es hier billig übergangen. Die Elektrometrie ist sonach auf zwei Stücke beschränkt, nämlich zuerst auf die Ausmessung der *absoluten Stärke* der Elektricität, und zweitens auf die Untersuchung der *relativen Wirkungsfähigkeit* derselben mit Rücksicht auf die verschiedene Entfernung von dem eigentlichen Sitze derselben.

A. Messung der absoluten Stärke der Elektricität.

Insofern die Elektricität noch nicht für sich dargestellt ist, kann es auch keine absolute Messung derselben geben, vielmehr setzt man sie der Stärke ihrer Wirkungen proportional, wie dieses auch bei der Ausmessung der Wärme der Fall ist. Die verschiedenen Arten ihrer Messung müssen sich sonach auf ihre

Wirkungen beziehen, und lassen sich daher am besten an diese letzteren anknüpfen.

1. Eine vorzügliche Wirkung der Elektricität ist das *Anziehen* und *Abstofsen leichter Körper*. Hierauf beziehen sich die sämmtlichen bisher bekannten Elektrometer, bei deren Beschreibung schon im vorigen Artikel im Allgemeinen gezeigt ist, auf welche Weise man die absolute Stärke der Elektricität aus dem Gewichte der abgestofsenen oder angezogenen Körper unmittelbar, oder aus der Gröfse des Elongationswinkels derselben mittelbar findet. Weil dieses aber in den meisten Fällen mit Rücksicht auf die Entfernung zu geschehen pflegt, und aufserdem die Methode und die Gesetze bei beiden Messungsarten die nämlichen sind, so wird diese Frage am zweckmäfsigsten im zweiten Theile dieser Untersuchungen erörtert.

2. Hiermit zusammenhängend sind die *mechanischen Wirkungen* der Elektricität, die sich durch das Zerschlagen, Zerreifsen, Durchbrechen und Verschieben der verschiedenen Körper mit einer oft erstaunenswürdigen Kraft zeigen. Die hierher gehörigen Erscheinungen und die wenigen bisher gemachten Versuche, die Gröfse der hierzu erforderlichen Kraft zu bestimmen, werden unter dem Artikel *Flasche* mitgetheilt werden. Am auffallendsten sind diejenigen Erscheinungen, welche der Blitz darbietet[1], ohne dafs man bisher die zu den Wirkungen erforderliche Kraft genau zu messen vermochte, wie dieses aus den Bedingungen derselben leicht erklärlich ist.

3. Eine dritte Wirkung der Elektricität ist das *Glühendmachen* und *Schmelzen von Metalldrähten*, womit das Entzünden verbrennlicher Körper zusammenhängt. Sofern hierbei eine Messung der Elektricität statt findet, geschieht sie meistens durch die Länge und Dicke der geschmolzenen oder glühend gemachten Stahldrähte.

4. Endlich äufsert sich die Elektricität auch als *chemisch wirkende Potenz*, und zeigt insbesondere bei der Volta'schen Säule eine ausnehmende zerlegende Kraft. Eigentliche Messungen der hierbei wirksamen Elektricität finden überall kaum statt,

---

1 Vergl. *Blitz*. Eins der auffallendsten Beispiele habe ich so eben in Poggendorf's Annalen bekannt gemacht.

aufser dafs man die Stärke der gebrauchten Apparate nach der Menge der Gase bestimmt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Zerlegung des Wassers gebildet werden. Die unter die beiden letzteren Abtheilungen gehörenden Erscheinungen und die Arten der Messung, welche sich im Allgemeinen nur auf eine Vergleichung der gebrauchten Apparate bezieht, werden an den geeigneten Orten abgehandelt.

B. Messung der relativen Wirksamkeit der Elektricität mit Rücksicht auf den Abstand von dem Körper, auf welchem dieselbe angehäuft ist.

Ungleich ausführlicher und mehr wissenschaftlich ist diese zweite Frage von jeher behandelt, weil sie nicht blofs die Stärke der Wirksamkeit einer aus ihrem Verhalten erkennbaren Potenz, sondern zugleich die individuelle Art ihrer Existenz und ihrer Verbreitung im Raume zum Objecte ihrer Untersuchung macht, und hierdurch Auskunft über das Wesen derselben zu geben verspricht. Sie macht daher das eigentliche Object der Elektrometrie aus, und bedient sich als Werkzeuge der im vorigen Artikel beschriebenen Elektrometer. Letztere sind blofs auf die Eigenschaft der Abstofsung und Anziehung der Körper durch Elektricität gegründet, und würden allgemeine Mefswerkzeuge für die Stärke der elektrischen Wirksamkeit seyn, wenn die Kraft der Elektricität ihrer anziehenden und abstofsenden Kraft ohne Ausnahme direct proportional wäre. Dieses findet man aber namentlich bei der galvanischen Elektricität nicht bestätigt, welche oft die heftigsten Wirkungen der Erhitzung, chemischen Zerlegung und Hervorrufung des Magnetismus mit einer sehr geringen Repulsionskraft verbindet. Noch immer bleibt die Erklärung dieses Unterschiedes zwischen der durch Reibung und der durch Berührung heterogener Metalle erzeugten Elektricität schwierig, indefs ist hierüber an den geeigneten Stellen schon geredet. Die Elektrometrie bezieht sich daher für jetzt noch meistens auf die Stärke der Spannung, welche die durch Reibung erzeugte Elektricität in ungleichen Abständen zeigt, und man hat schon verschiedene Versuche gemacht, die hierbei obwaltenden Gesetze durch theoretische Untersuchungen und durch die Erfahrung auszumitteln. Hierher gehören unter an-

dern die Bemühungen von Aepinus[1], Volta[2], de Lüc[3] und Späth[4]; allein niemand hat diesen Gegenstand weiter gefördert als Poisson durch seine theoretischen Untersuchungen[5] und Coulomb[6] durch seine unvergleichlichen Versuche, denen Biot[7] in seiner Darstellung gefolgt ist. Eine eben so gründliche als vollständige kritische Prüfung der bisherigen Versuche aber, das Gesetz der elektrischen Anziehungen und Abstofsungen aufzufinden, hat neuerdings Egen[8] geliefert, so wie Kämtz[9] eine geometrische Untersuchung des Gegenstandes, deren verdienstliche Arbeiten ich bei meiner Darstellung hauptsächlich benutzen werde. Zu mehrerer Vollständigkeit des Ganzen und einer leichteren Uebersicht schien es mir aber am räthlichsten, die Elektrometrie nach der Beschaffenheit der gebrauchten Elektrometer abzuhandeln, zuvörderst aber noch folgende theoretische Betrachtungen vorauszuschicken.

Die elektrische Anziehung und Abstofsung wird nur unter denjenigen Umständen gemessen, wenn die Elektricität über gewisse Körper verbreitet ist. Die letzteren sind entweder Leiter oder Nichtleiter derselben, und bei beiden findet man im Zustande der Ruhe die Elektricität auf ihrer Oberfläche haftend, woselbst sie durch den Druck der Luft zurückgehalten wird. Inzwischen ist ihr Verhalten bei Nichtleitern etwas verschieden, insofern sie denselben durch eigene Anziehung weit stärker anhängt, als den Leitern. Die Richtigkeit dieses Satzes ergiebt sich aus dem Verhalten luftleerer gläserner Röhren, Glocken u. s. w., indem die ihnen durch Reibung oder Mittheilung gegebene Elektricität sich unter günstigen Umständen längere Zeit an ihnen erhält, und ihr Daseyn durch fortgesetztes Leuchten kund giebt. Ueberhaupt ist nicht zu bezweifeln, dafs die Elek-

---

1 Tentamen theor. electr. et magn. p. 38.

2 A. Volta meteorol. Briefe a. d. Ital. Leipz. 1793. 8.

3 Neue Ideen über Meteorologie. Berl. u. Stettin 1787. I. 306.

4 Abhandlung über Elektrometer. Nürnb. 1791. 8. Gren Journ. IV. 361.

5 Mém. de l' Institut. année 1811. I. p. 1 ff. II. p. 163.

6 Mém. de l' Acad. 1787. p. 430.

7 Traité II. 224.

8 Poggendorf's Annalen V. 199 u. 281.

9 Dissertatio de legibus repulsionum electricarum geometricis Halae 1823.

tricität gleichfalls einer Anziehung durch die Körper aller Art folge, welche Kraft indeſs durch die eigene Repulsion ihrer Theile gegen einander, und das Bestreben derselben, sich mit ihrem Entgegengesetzten zu neutralisiren, modificirt wird. Sie ist ferner auf nichtleitenden Körpern nicht frei beweglich, kann daher auch, ohne Rücksicht auf die Gestalt derselben, an den verschiedenen Stellen ungleich angehäuft seyn, und die Nichtleiter sind daher weniger geeignet, das Verhalten derselben im Allgemeinen zu zeigen. Noch kommt ein Unterschied in Betrachtung, ob nämlich die Nichtleiter flache Scheiben sind, auf deren beiden Seiten gleichartige oder entgegengesetzte Elektricitäten sich angehäuft befinden. Im ersteren Falle haben beide freie Spannung, aber es tritt der merkwürdige Umstand ein, daſs die Elektricität nur an der einen Seite weggenommen werden darf, um auch an der andern zu verschwinden, welches aus einer Neutralisirung durch die entgegengesetzte erklärlich wird, und sehr für den Dualismus entscheidet. Sind dagegen auf beiden Seiten einer flachen Scheibe die entgegengesetzten Elektricitäten angehäuft, so binden sie sich in ihren einzelnen Elementen gegenseitig so stark, daſs sie keine bedeutende Spannung zeigen, und sich daher zu Versuchen über die elektrischen Repulsionsgesetze nicht gut eignen. Man kann die Belegungen einer Glastafel bei der sogenannten zerlegbaren Flasche vom Glase trennen, beide durch Berührung neutralisiren, selbst die Glastafel nach einander auf beiden Seiten in einzelnen Puncten berühren, dann die Flasche wieder herstellen, und wird sie geladen finden. Sind aber die Belegungen mit dem Glase verbunden, und ist eine derselben leitend mit der Erde in Verbindung gesetzt, so zeigt die andere insofern eine freie Spannung der Elektricität, als sie das Bestreben hat, sich mit der entgegengesetzten zu neutralisiren, und kann also in der Gestalt der bekannten leidener Flasche zur Untersuchung der Gesetze der elektrischen Anziehung und Abstoſsung mit gehöriger Vorsicht angewandt werden. Ob aber die Nähe der entgegengesetzten elektrischen äuſseren Belegung, und die Wirkungssphäre der letzteren auf die Vertheilung der Elektricität, am Knopfe der Flasche einen störenden Einfluſs ausübe, dieses ist, so viel ich weiſs, noch nicht genügend untersucht. Auf allen Fall aber kann unter den verschieden gestalteten *Nichtleitern* nur die Flasche oder ein geriebener idioelektrischer Körper, als etwa

eine Glasröhre oder Siegellackstange, unter den erforderlichen Bedingungen und Vorsichtsmafsregeln zu diesem Zwecke, jedoch nicht mit völliger Sicherheit, benutzt werden.

Etwas verschieden hiervon ist das Verhalten der leitenden Körper, namentlich der Metalle, welche allein zu berücksichtigen hier vollkommen genügt. Es ist als ein Axiom in der Elektricitätslehre eingeführt, dafs die Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Leiter befinde. Poisson[1] sagt hierüber, Coulomb habe durch directe Versuche bewiesen, dafs kein Atom der Elektricität im Innern der Leiter bleibe, aufser etwa der natürliche Sättigungszustand derselben. Dieser Satz in absoluter Strenge und Allgemeinheit genommen würde im offenbarsten Widerspruche mit den erwiesensten Thatsachen stehen. Wenn der Blitz dicke Metalldrähte schmelzt, Bäume in Splitter zerspaltet, die Reizbarkeit der Nerven zerstört und die Frucht in der Mutter tödtet[2], ohne die letztere zu beschädigen, so ist es wohl unmöglich, sich vorzustellen, dafs dieses alles durch eine blofse Verbreitung der Elektricität auf der Oberfläche geschehe. Inzwischen liegt dieses nicht in Coulomb's Behauptung. Man mufs nämlich wohl unterscheiden, ob die Elektricität einen Leiter *frei durchströmt*, oder auf einem isolirten sich *verbreitet*. Wenn dieselbe einen vollkommenen Leiter frei durchströmt, insbesondere wenn bei einer Flasche die positive sich mit der negativen zur Neutralisation verbindet, so ist wohl keinem Zweifel unterworfen, dafs sie in der Masse der Leiter fortströmt, womit auch Davy's Versuche und viele Erscheinungen des Elektromagnetismus übereinstimmen[3]. Hängt man über den leitenden Draht, welcher die beiden Belegungen einer Flasche verbindet, einen Faden mit einem Korkkügelchen an jedem Ende so, dafs beide sich berühren, so werden sie beim Entladen der Flasche gar nicht, oder nur dann unmerklich aus einander fliegen, wenn die Annäherung zum anderen Pole der Flasche langsam geschieht. Die kräftigste Elektricität äufsert also beim Durchströmen des vollkommenen Leiters auf der Oberfläche desselben keine merkliche Spannung.

Ganz etwas anderes ist es aber, wenn einem Leiter freie

---

1 a. a. O. I. p. 3.

2 Vergl. *Blitz; Elektricität, medicinische.*

3 Vergl. *Elektromagnetismus* II. und *Theorie* a. E.

Elektricität mitgetheilt ist. Abstrahiren wir hierbei vorläufig von der Form der Körper und ihrem Einflusse auf die Vertheilung der Elektricität auf denselben[1], so folgt aus dem Bestreben der Elektricität nach Neutralisation mit ihrem Entgegengesetzten, welches sie im Innern der Körper nicht findet, desgleichen aus der Repulsion ihrer einzelnen Theile gegen einander, daſs sie sich auf der Oberfläche anhäufen muſs, und von hieraus zerstreuen würde, wenn die Nichtleitung der Luft dieses nicht hinderte. Beobachtet man im Finstern das Ausströmen der Lichtbüschel, welche von einer Spitze ausgehend sich kegelförmig mit abnehmend schwächerem Lichte ausbreiten, so giebt diese Erscheinung gleichsam ein Bild des Bestrebens der Elektricität, sich vom Leiter aus zu zerstreuen, und zwar so, daſs ihre Dichtigkeit hierbei den Quadraten des Abstandes vom Leiter, auf dessen Oberfläche sie aufgehäuft ist, umgekehrt proportional abnimmt. Wäre dieser letztere Satz durch Theorie und Erfahrung hinlänglich begründet, und dürften wir annehmen, daſs die nach Ausgleichung strebende, auf der Oberfläche eines isolirten Leiters ausgebreitete Elektricität gleichfalls an Dichtigkeit und somit auch an Wirksamkeit den Quadraten der Entfernung proportional abnähme, so hätte die Elektrometrie eine feste Basis, worauf sie fuſsen könnte, indem dann die Elektricität nur in einer einzigen Entfernung gemessen werden dürfte, um die Stärke derselben in jedem Abstande von ihrem eigentlichen Sitze zu bestimmen, wobei sich von selbst versteht, daſs auf die durch mannigfaltige Umstände bedingte stete Ausströmung gehörige Rücksicht zu nehmen wäre. Deswegen ist es bisher das hauptsächliche Streben der Elektrometrie gewesen, dieses Gesetz mit genügender Zuverlässigkeit zu begründen.

Pfaff[2] hat gezeigt, daſs der Inbegriff der gesammten elektrischen Erscheinungen nur dann mit innerer Consequenz erklärt werden kann, wenn man die Elektricität für ein gewisses materielles, ätherartiges Wesen hält, dessen einzelne Theile Repulsion gegen einander ausüben. Dieser Ansicht huldigen gegenwärtig alle diejenigen Physiker, welche sich bei der Erforschung der Elektricität nicht mit der Kenntniſs der allgemeinst bekannten Erscheinungen und der hierauf oberflächlich gebaue-

---

1 Hierüber S. *Elektricität; Mittheilung derselben.*

2 S. *Elektricität.*

ten Erklärungen begnügen, sondern die angegebenen gehaltvollen Abhandlungen von Coulomb, Poisson und Biot gründlich studirt haben. Legen wir aber diesen Satz zum Grunde, und berücksichtigen dann ferner, daſs die Elektricität durch Anziehung auf der Oberfläche festgehalten wird, indem sie sich mit dem entgegengesetzten zu sättigen sucht und zugleich der Repulsion ihrer Theile unterliegt, so folgt hieraus von selbst, daſs die Elektricität den isolirten Leiter nach Art einer Atmosphäre umgiebt, deren Dichtigkeit eben wie bei der Atmosphäre unserer Erde (die Abnahme der Temperatur bei der letzteren nicht berücksichtigt) im quadratischen Verhältnisse der Entfernung abnimmt.

Poisson[1] geht von der von ihm als ausgemacht angenommenen Prämisse aus, daſs die Repulsionskraft der Elektricität im quadratischen Verhältnisse der Entfernungen abnimmt, gründet hierauf die Gesetze der Verbreitung der Elektricität über die Oberflächen der Körper von den verschiedensten Formen, und die Uebereinstimmung der durch seine Analyse erhaltenen Resultate mit denen, welche Coulomb auf dem Wege der Erfahrung fand, läſst nicht wohl einen Zweifel an der Gültigkeit dieses Gesetzes zu. Auſserdem folgert derselbe, und noch bestimmter Egen[2] aus den allgemeinen Anziehungsgesetzen, angewandt auf das eigenthümliche Verhalten der Elektricität, die Nothwendigkeit dieses Gesetzes. Befindet sich nämlich ein leitender Körper in trockner Luft, und wird ihm Elektricität mitgetheilt, so wird diese vermöge ihrer Repulsionskraft, und indem der leitende Körper ihrer Bewegung kein Hinderniſs entgegensetzt, sich über die Oberfläche verbreiten, und daselbst durch die Luft zurückgehalten werden. Es folgt dann sowohl aus theoretischen Gründen, als auch aus Coulomb's directen Erfahrungen[1], daſs unter diesen Bedingungen im Innern der Körper auſser dem natürlichen Stillungszustande keine Elektricität zurückbleibt, daſs vielmehr die freie sich in einer dünnen Schicht über die Oberfläche verbreitet, welche nicht merklich in das Innere eindringt, und deren Dichtigkeit durch die Gestalt des Körpers bedingt wird. Damit aber ein elektrisirter Kör-

---

1 a. a. O. I. p. 1 u. 4.

2 Poggendorf Ann. V. 202.

1 Vergl. *Elektricität* p. 270.

per seinen elektrischen Zustand bleibend und unverändert beibehält (die nothwendige Bedingung der allmäligen Zerstreuung durch die nur unvollkommen isolirende Luft nicht gerechnet), muſs nicht bloſs das Gleichgewicht der die Oberfläche bedekkenden Schichte beständig bleiben, sondern sie darf auch weder Anziehung noch Abstoſsung auf irgend einen willkührlichen Punct im Innern des Körpers ausüben. Wäre dieses nicht der Fall, so würde die auf der Oberfläche befindliche Elektricität einen Theil der im Innern enthaltenen zerlegen, und dadurch ihren vorigen Zustand verändern. Die Resultirende der Wirkungen aller Theile der Elektricität also, welche die äuſsere Lage bilden, gegen irgend einen willkührlichen Punct im Innern des Körpers ist daher = 0, und dieses erstreckt sich nicht bloſs auf den Mittelpunct der Körper, sondern auf seinen ganzen Inhalt bis an die Grenze seiner äuſsern Oberfläche, wo sich die Lage der freien Elektricität befindet.

Denkt man sich gröſserer Einfachheit wegen eine Kugel[1], deren Mittelpunct D seyn möge, und auf deren Oberfläche die freie Elektricität vermöge der Gestalt dieses Körpers überall gleichmäſsig vertheilt ist, an irgend einem Puncte C im Innern derselben aber zwei zur Neutralität verbundene Theilchen der Elektricität, so werden die auf der Oberfläche verbreiteten Theilchen anziehend auf das ungleichnamige und zurückstoſsend auf das gleichnamige Theilchen in C wirken. Es wird also bei C nur in dem Falle keine Vertheilung, und somit auch keine Veränderung des elektrischen Zustandes im Innern des Körpers, und auf seiner Oberfläche nur unter der oben angegebenen Bedingung statt finden, nämlich wenn die Resultirende aller Anziehungen und Abstoſsungen = 0 ist; d. h. wenn die Linien Ab und aB unendlich nahe zusammenliegend durch den Punct C gezogen werden, so muſs die Anziehung oder Abstoſsung des Linienelementes Aa gleich derjenigen von Bb seyn, oder aber die Anziehungs- und Abstoſsungskräfte müssen in beliebigen Entfernungen so wirken, daſs sie sich von der Oberfläche einer

Fig. 146.

1 Egen a. a. O. bezieht sich auf Newton Princ. I. p. 357. ed. nov. Glasquae 1822. (oder Lib. I. Sect. XII. prop. LXX. th. XXX. T. I. p. 267. ed. Tessanek) und Poisson Traité de Méc. II. 20. wo ein ähnlicher Beweis über die anziehenden Kräfte vorkommt. Vergl. G. G. Schmidt Handb. d. Naturl. Gieſs. 1813. I. p. 428.

Kugel aus bei Puncten innerhalb derselben wechselseitig aufheben. Diese Bedingung findet aber nach den hierüber durch NEWTON, POISSON u. a. geführten Beweisen nur dann statt, wenn die Anziehungs- und Abstofsungskräfte dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional wirken, man mag in specieller Beziehung auf die Elektricität die Lage derselben auf der Oberfläche der Kugel als verschwindend dünn oder von mefsbarer Dicke annehmen. Ist der Exponent jenes Verhältnisses kleiner als 2, so übt das entferntere Element B b eine gröfsere Kraft auf C aus, als das nähere A a; ist er dagegen gröfser als 2, so wirkt A a stärker auf C als B b, und in beiden Fällen wird die Elektricität in jenem Puncte zerlegt, und das vorher bestandene Gleichgewicht aufgehoben. Dafs übrigens dasjenige, was hier für den Punct C bestimmt ist, für alle um den Mittelpunct D liegende Puncte statt finde, versteht sich von selbst, und bedarf kaum einer Erwähnung.

Man darf somit den Satz, dafs die freien, auf der Oberfläche leitender Körper angehäuften, Elektricitäten Abstofsung und Anziehung im umgekehrten quadratischen Verhältnisse des Abstandes ausüben, als theoretisch begründet ansehen. Die Physiker konnten sich indefs hiermit nicht begnügen, sondern mufsten dieses Gesetz auch durch Versuche prüfen, und dieses ist wirklich von vielen auf verschiedene Weise geschehen, wozu im Allgemeinen die im vorigen Artikel beschriebenen Elektrometer dienten. Dabei wurde im Allgemeinen vorausgesetzt, dafs die Abstofsungen und Anziehungen einander gleich sind, welches auch durch Versuche bestätigt wurde. In gröfserer Vollständigkeit ist indefs das Gesetz nur vermittelst der Abstofsungen geprüft, weil bei den Anziehungen die angezogenen Körperchen leicht etwas Elektricität im Wirkungskreise der genäherten elektrisirten Körper annehmen, und dadurch unrichtige Resultate veranlassen können.

1. Messungen vermittelst der Drehwaage.

Die durch COULOMB erfundene und viel gebrauchte Drehwaage ist oben[1] beschrieben. Die Anwendung derselben zu elektrometrischen Versuchen ist mit sehr grofsen Schwierigkeiten verbunden, weil sie ein aufserordentlich feines Werkzeug

1 S. Th. II. p. 591. Vergl. Gren N. J. III, 50.

ist, und die Anziehungen der Glaswand, welche leicht etwas Elektricität erhält, auf den beweglichen Arm eine grofse Störung herbeiführt. Es ist daher vorzüglich nur Coulomb gelungen, richtige Resultate damit zu erhalten, weil er sie als seine Erfindung sehr hoch schätzte, und sie mit grofser Sorgfalt und ausnehmender Geschicklichkeit zu behandeln wufste. Soll sie zu elektrischen Versuchen gebraucht werden[1], so besteht der Waagebalken aus einer feinen Stange Gummilack b b′, dessen horizontale Richtung durch eine in der Mitte eingesteckte, mit dem Knopfe herabwärtshängende, Stecknadel erreicht wird. Am einen Ende befindet sich die Kugel b′ von Hollundermark oder dem Marke der Sonnenblume, welche auch vergoldet seyn kann, und welche man vermittelst des beweglichen Knopfes s auf o der Theilung auf dem unteren papiernen Kreise stellt. Eine andere gleiche Kugel a′ wird an dem Stäbchen von Gummilack a a′ durch die gläserne Deckplatte des unteren gröfseren Cylinders herabgelassen, und ist gleichfalls auf das o der Theilung gerichtet, so dafs also die erstere Kugel b′ um die Summe der Halbmesser beider Kugeln davon weggerückt wird. Die feinen Stangen von Gummilack erhält man leicht, wenn man diese Substanz an der Flamme einer Kerze erweicht, und nach Art des Glases in Fäden von der erforderlichen Länge und Dicke auszieht. An ein solches Stängelchen wird dann ferner ein kleines metallenes Knöpfchen, etwa das einer Stecknadel befestigt, diesem Elektricität durch Berührung einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange, oder eines elektrisirten Conductors mitgetheilt, und dem Kügelchen a′ zugeführt, indem man jenes mit diesem durch eine seitwärts befindliche geeignete Oeffnung in Berührung bringt und sogleich zurückzieht.

Fig. 147.

Bei Coulomb's Versuchen hing der feine Waagebalken an einem sehr dünnen Silberfaden von 28 Z. Länge, und so zart, dafs 1 Fufs davon nicht mehr als $\frac{1}{16}$ Gran wog. Der Radius des durch den Hebelarm beschriebenen Kreises betrug 4 Z., wonach also[2] eine auf das Ende des Waagebalkens perpendiculär wirkende Kraft von $\frac{1}{340}$stel Gran erfordert wurde, um denselben durch einen ganzen Kreis herumzudrehen. Weil aber die Elasticität eines Drahtes bei einer Windung um seine Län-

1 Biot Traité. II. 224 ff.

2 Vergl. *Drehwaage* Th. II. 596. ff. u. *Elasticität* p. 194. ff.

genaxe dem Drehungswinkel proportional ist, so erforderte die Drehung von *einem* Grade nur ein Gewicht von $\frac{1}{122400}$ Gran. Indefs zerrifs dieser Draht durch die geringste Erschütterung, und Coulomb bediente sich daher mehr eines Drahtes von doppelt so starkem Durchmesser, dessen Elasticität also 16 mal gröfser war. Es ist ferner räthlich, den Draht einige Tage vor dem Versuche durch ein Gewicht gespannt zu halten, welches der Hälfte seiner absoluten Tragkraft gleich ist, auch die Umdrehung nicht über 300 Grade zu treiben, damit er sich nicht windet, und losgelassen auf seinen vorigen Stand zurückkommt.

Coulomb verfeinerte dieses Werkzeug noch mehr, um ein blofses Elektroskop für die geringsten Spuren von Elektricität zu erhalten. Zu diesem Zwecke nahm er statt des Metalldrahtes einen Coconfaden, 4 Z. lang, mit einem zarten Waagebalken von 1 Z. Länge, an dessen Ende ein kleines Scheibchen Rauschgold befestigt war, so dafs das Gewicht des Ganzen nicht mehr als 0,25 Gran ausmachte. Die Drehung durch einen ganzen Kreis betrug hierbei nur den 60,000sten Theil eines Granes. Durch die äufsere Wand des gläsernen Gehäuses wird ein von Gummilack umgebener Kupferdraht gesteckt, welcher an einem Ende ein vergoldetes Kügelchen von Hollundermark trägt, am andern ein metallenes Knöpfchen. Die Axe des Drahtes befindet sich in 0° der Theilung des Kreises, der Coconfaden aber wird vermittelst seiner oberen Befestigung leise gedrehet, bis das Scheibchen Rauschgold das vergoldete Kügelchen gerade berührt, und es wird zurückgestofsen, wenn man dem metallenen Knöpfchen am Kupferdrahte von Aufsen einen auch noch so wenig elektrisirten Körper nähert. Das Werkzeug gehört also ganz eigentlich unter die *Mikroelektrometer*.

Um zu zeigen, auf welche Weise Coulomb das seitdem auf seine Autorität angenommene Gesetz aus seinen Versuchen folgerte, beschreibt Biot einen derselben. Als nämlich der Apparat auf die angegebene Weise vorgerichtet und der Kugel a′ Elektricität mitgetheilt war, wurde die Kugel b′ um einen Winkel von 36° zurückgestofsen. Coulomb drehete darauf den Draht dieser Abstofsung entgegen, bis der Winkel nur noch 18° betrug, wobei der Zeiger bei s eine Umdrehung von 126° zeigte. Nach Herstellung des Gleichgewichts fuhr er fort rückwärts zu drehen, bis b′ auf 8°,5 zeigte, wozu eine Umdrehung durch 567° erfordert wurde. Durch vorläufige Versuche hatte

sich COULOMB überzeugt, dafs eine Abstofsung von 30° an diesem trocknen Tage innerhalb 3 Minuten nur um 1° vermindert wurde, und da der Versuch nur zwei Minuten dauerte, so kann der Verlust als verschwindend betrachtet werden. Ist hiernach a b d der durch die Kugel am Ende des Hebelarmes beschriebene Kreis, c der Mittelpunct desselben, und a b der bei der ersten Zurückstofsung gemessene Bogen von 36°, so bezeichnet dieser die Stärke der Repulsion auf diese Entfernung. Als für die zweite Entfernung der Zeiger um 126° rückwärts gedrehet wurde, die Kugel sich aber in b', einem Abstande von 18° erhielt, so gehörte die Elasticität des Drahtes einer Abstofsungskraft von 126° + 18° = 144° bei dieser Entfernung zu. Endlich wurde der Draht um 567° gedrehet, und als die Kugel bei 8°,5 zum Stillstande kam, so gehörte dieser Entfernung eine Elasticität von 567° + 8°,5 = 575°,5 zu. Indem aber nach dem, was oben unter Elasticität[1] gezeigt ist, der Widerstand gedreheter Drähte dem Drehungswinkel proportional ist, so verhalten sich, wenn die letzte Gröfse in 576° verwandelt wird, die Abstandswinkel wie 1 : $\frac{1}{2}$: $\frac{1}{4}$ die Drehungswinkel aber wie 1 : 4 : 16 d. h. die letzteren umgekehrt wie die Quadrate der ersteren. Hieraus folgt also das Gesetz, *dafs die elektrischen Repulsionen den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportional sind.*

Fig. 148.

Hierbei sind indefs die Bogen statt der Chorden zum Messen der Entfernungen genommen, auch ist vorausgesetzt, dafs die Richtung der abstofsenden Kraft stets perpendiculär auf die Kugel am Hebelarme gewesen sey, welches nicht in ganzer Strenge richtig ist. BIOT[2] hat daher gezeigt, wie die Versuche mit Rücksicht auf diese Bedingungen genau berechnet werden können. Es ist zuvörderst als erwiesen anzusehen, dafs bei einer massiven oder hohlen Kugel, deren einzelne Theilchen mit einer im quadratischen Verhältnisse des Abstandes abnehmenden Abstofsungs- oder Anziehungskraft versehen sind, die Gesammtkraft derselben in ihrem Mittelpuncte vereinigt angenommen werden kann[3]. Ist die letztere daher in der Ent-

1 Th. III. 194.
2 a. a. O. p. 229.
3 Vergl. Newton u. Poisson a. d. a. O.

fernung 1 gleich F; so ist sie in der Entfernung $D = \frac{F}{D^2}$, wenn bei einer Winkelbewegung der Abstand nach der Chorde a b gemessen wird. Zerlegt man diese in zwei andere, die eine nach der Richtung der Nadel c b, die andere lothrecht auf dieselbe b t, so ist die letztere es allein, welche die Drehung bewirkt. Die abstoſsende Kraft muſs also nach statischen Gesezzen mit dem Cosinus des Winkels a b t multiplicirt werden, und da letzterer das Complement von c b a, also $= 90° - c b a$ ist, so wird für das gleichschenkliche Dreieck a c b, wenn man den Winkel bei c durch a bezeichnet, die Abstoſsungskraft $= \frac{F}{D^2}$ Cos. $\frac{1}{2}$ a. Es kann indeſs auch die Entfernung D als Function dieses Winkels ausgedrückt werden. Fället man nämlich von c aus das Perpendikel c p, so ist a p = b p = Sin. $\frac{1}{2}$ a also für den Radius c b = r ist D = 2 r Sin. $\frac{1}{2}$ a wonach man für die abstoſsende Kraft den geometrischen Ausdruck

Fig. 149.

$$\frac{F.\ \text{Cos.}\ \frac{1}{2}a}{4r^2\ \text{Sin.}^2\frac{1}{2}a}$$

erhält. Ist dann A der durch den Zeiger bei s gemessene Drehungsbogen des Drahtes, woran der Waagebalken hängt, und dessen Elasticität mit der Repulsion ins Gleichgewicht kommt, giebt man ferner diesem Bogen für den nämlichen Apparat einen beständigen Coefficienten n, so ist

$$\frac{F.\ \text{Cos.}\ \frac{1}{2}a}{4r^2\ \text{Sin.}^2\frac{1}{2}a} = nA$$

woraus $\frac{F}{4nr^2} = A\ \text{Sin.}\ \frac{1}{2}a\ \text{Tang.}\ \frac{1}{2}a$

wird, und da das erste Glied dieser Gleichung eine für alle Versuche beständige Gröſse ist, so müssen sie unter der Voraussetzung der Richtigkeit des aufgestellten Gesetzes für das letzte eine gleiche Gröſse geben. Man erhält aber aus der Berechnung der Coulomb'schen Versuche nach dieser Formel

Versuche	a	A.	A. Sin. $\frac{1}{2}$a Tang. $\frac{1}{2}$a
1ster Vers.	36°	36°	3,614
2ter Vers.	18	144	3,568
3ter Vers.	8,5	575,5	3,169
angenommen	9	576	3,557

Bloſs bei dem 3ten Versuche zeigt sich eine Abweichung, wel-

che zwar als Beobachtungsfehler gelten könnte, indeſs läſst sich auch annehmen, daſs die geringere Gröſse des Abstoſsungswinkels aus der Natur der Sache folge. Kommen nämlich zwei Kugeln mit einer sie umgebenden elektrischen Atmosphäre einander sehr nahe, so stoſsen sich die letzteren ab, und es liegt das Centrum der abstoſsenden Kraft der Kugeln nicht mehr im Mittelpuncte der letzteren, sondern in einer mit ihrer Nähe wachsenden Entfernung von demselben, wodurch also der Abstoſsungswinkel vermindert werden muſs. Man sieht zugleich aus dieser Berechnung, daſs in denjenigen Fällen, worin der Abstoſsungswinkel nicht über 36° beträgt, man sehr gut die Bogen statt ihrer Chorden nehmen kann, um durch eine leichtere Berechnung solche Werthe zu erhalten, welche sich nur unmerklich von der Wahrheit entfernen.

Coulomb hat auch Versuche angestellt, um das Gesetz der Anziehung ungleichartig elektrisirter Körper zu finden[1]. Sie sind aber ungleich schwieriger und unsicherer als die eben beschriebenen, und es genügt daher nur im Allgemeinen zu bemerken, daſs sich auch durch diese das aufgestellte Gesetz der Anziehung im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung bestätigt zeigte. Wird nämlich die am Hebelarme der Drehwaage befestigte Kugel b, wenn sie entweder im neutralen Zustande oder mit entgegengesetzter Elektricität gesättigt ist, durch die feste Kugel a angezogen, so müssen nach entstandener Bewegung beide zur Berührung kommen, wenn die Anziehung dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportional ist, und hierdurch wird der elektrische Zustand beider verändert. Um dieses zu hindern, muſs ein seidener Faden lothrecht im Gehäuse der Drehwaage so herabgeführt werden, daſs der eine Arm des Waagebalkens in seiner Bewegung dadurch aufgehalten wird, so daſs die Kugel nur etwa bis nach b' gelangen kann, und dann muſs man den Draht so stark rückwärts drehen, bis seine Elasticität mit der Anziehung der Kugeln ins Gleichgewicht kommt. Weil aber hiernach beiden Kugeln Elektricität mitgetheilt werden muſs, deren Stärke nicht so genau bestimmbar ist, oder die neutrale Kugel im Wirkungskreise leicht etwas Elektricität annimmt, überhaupt die Anstellung des Versuches leicht etwas mehr Zeit erfordert, so ist auf diesem Wege nicht leicht völlige

Fig. 150.

1 Biot Traité II. 233.

Genauigkeit zu erhalten, und sind solche daher nicht ohne die gröſste Vorsicht anzustellen.

Endlich bestätigte Coulomb das aufgefundene Gesetz noch durch eine Reihe von Versuchen, welche nicht eben schwer anzustellen und in mancher Hinsicht sehr interessant sind, eben daher also eine Erwähnung verdienen[1]. Er bediente sich hierzu einer Drehwaage, deren Hebelarm aus Gummilack 15 bis 16 Lin. lang bestand. An dem einen Ende war ein kleines Scheibchen Goldpapier befestigt, er selbst aber an einem Coconfaden von 7 bis 8 Z. Länge aufgehangen, dessen anderes Ende zu vollständigerer Isolirung an einem Stäbchen Gummilack befestigt war. Die Beweglichkeit eines solchen Apparates ist so leicht, daſs ein Hundertzwanzig Tausendstel eines Grans den Waagebalken durch einen ganzen Kreis umzudrehen vermag. Es muſs indeſs der Waagebalken einige Tage an dem Faden ruhig hängen, damit letzterer sich vollkommen aufdrehet, und die Schwingungen nachher bloſs durch die Anziehung einer vor demselben befindlichen Kugel bedingt werden. Vor dem Scheibchen Goldpapier stellte Coulomb nämlich eine groſse hölzerne, mit Zinnfolie überzogene Kugel von einem Fuſs im Durchmesser, welche von drei dünnen Säulen Gummilack isolirt getragen wurde, und vermittelst eines Schiebers in einer Nute auf abgemessene Entfernungen dem Scheibchen genähert oder weiter davon entfernt werden konnte. Nachdem der Apparat auf diese Weise vorgerichtet war, wurden dem Scheibchen und der Kugel entgegengesetzte Elektricitäten mitgetheilt, der Abstand ihrer Mittelpuncte genau gemessen, und der Waagebalken in verschiedenen Entfernungen dieser Mittelpuncte in Schwingungen durch kleine Bogen versetzt, die Zeitdauer einer bestimmten Menge derselben nach einer genauen Secundenuhr bestimmt, und hieraus die Stärke der Anziehung berechnet. Es gehörten hiernach folgende Gröſsen zu einander:

Abstand der Centra:	Zeitdauer von 15 Schwingungen.
9 Zolle	20 Secunden.
18 —	41 — —
24 —	60 — —

Zur Berechnung dieser Resultate darf man eben so wie oben die

1 Biot Traité II. 236. ff.

anziehende Kraft zwischen dem Scheibchen Goldpapier und der Kugel für die verschiedenen Entfernungen ihrer Mittelpuncte durch $\frac{F}{D^2}$ ausdrücken, insofern sich annehmen läfst, dafs die Gesammtkraft der elektrischen Wirkung beider in ihrem Centro vereinigt gedacht werden kann, und das Scheibchen wegen der Gröfse der Kugel und der Kleinheit der Schwingungsbogen während der Dauer einer einzelnen Schwingung seine Entfernung von derselben nicht merklich änderte. Werden dann die Schwingungen mit denen eines durch die Anziehung der Erde schwingenden Pendels verglichen, für welches bei einer Länge = L, und die Schwere = g die Schwingungszeit

$$T = \pi . \left(\frac{L}{g}\right)^{\frac{1}{2}}$$

ist, so wird durch Substitution von $\frac{F}{D^2}$ statt g

$$T = D . \pi . \left(\frac{L}{F}\right)^{\frac{1}{2}}$$

wonach also die Schwingungszeiten den Abständen proportional seyn müssen, wenn die Länge des Hebelarmes und die Stärke der Elektricität unverändert bleiben. Bei dem erwähnten Versuche verhielten sich die Entfernungen wie 3 : 6 : 8, die Zeiten aber wie 20 : 41 : 60. Die letzteren sollten seyn 20 : 40 : 54, wovon hauptsächlich nur die letztere Gröfse bedeutend abweicht. Allein die Beobachtung wurde 4 Minuten nach der ersten gemacht, und da nach COULOMB's Bestimmung die elektrische Spannung um $\frac{1}{40}$ in jeder Minute abnahm, so mufste mit Rücksicht auf diesen Verlust die letzte Schwingungszeit von 15 Oscillationen 57 Secunden betragen, welches von der Beobachtung nicht merklich abweicht.

Versuche mit der Drehwaage sind seit COULOMB nur sehr wenige angestellt, oder die Physiker haben sie nicht bekannt gemacht, entweder weil sie gleiche Resultate erhielten, als jener, oder bei der Schwierigkeit der Handhabung dieses Apparates den Erfinder desselben an Genauigkeit nicht zu übertreffen hofften. PARROT[1] unter andern versichert das angegebene Gesetz bei Versuchen mit der Drehwaage bestätigt gefunden zu haben, zugleich aber konnte er nie die durch COULOMB erhaltene

1 G. LX. 22.

genaue Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungen mit demselben erreichen, sondern die Fehler stiegen zuweilen bis auf $\frac{1}{8}$ des Ganzen. J. T. MAYER[1] wirft dem Apparate überhaupt Ungenauigkeit wegen der Zerstreuung der Elektricität während der Versuche vor, welche indefs bei demselben wegen der umgebenden Glaswände und des Gebundenseyns der Elektricität an Kugeln auf alle Fälle geringer seyn mufs, als bei den meisten, wo nicht allen andern Elektrometern. Unverkennbare Schwierigkeiten liegen offenbar in der Schnelligkeit, womit diese Versuche, wie alle elektrometrischen, angestellt werden müssen, und in der Anziehung, welche die Wände des Gehäuses gegen die Kugel des Waagebalkens ausüben, und deren Einflufs nicht füglich anders als durch eine Erweiterung dieses Gehäuses wo nicht aufgehoben doch bedeutend vermindert werden kann.

Insbesondere sind die Coulombschen Versuche zur Prüfung des durch dieselben aufgefundenen Gesetzes wiederholt durch L. F. KÄMTZ[2]. Die von ihm gebrauchte Waage bestand aus einem mit Gummi-Lack überzogenen Glasstabe an einem nürnberger Goldhaardrahte aufgehangen, an dessen Enden kleine Kugeln von Messing oder kleine Scheiben von Blattzinn befestigt waren. Aus einer sehr grofsen Reihe von Versuchen ergab sich als mittlerer Exponent des verkehrten Verhältnisses der Abstofsungen zu den Entfernungen = 1,237. Dafs dieses Gesetz aus den Versuchen eines genau experimentirenden, und die erhaltenen Gröfsen richtig berechnenden, Physikers wirklich gefunden sey, leidet wohl keinen Zweifel, allein zugleich wäre auch auf keine Weise begreiflich, mit welcher Theorie der Verbreitung der elektrischen Materie über die leitenden Körper dasselbe verträglich seyn sollte. Inzwischen weifs ich aus Privatmittheilungen, dafs die gebrauchte Drehwaage, deren Dimensionen nicht näher angegeben sind, nur klein war. So wie aber dieses Instrument überhaupt blofs dann zuverlässige Resultate gewährt, wenn der Waagebalken und der tragende Draht hinlänglich lang sind, so ist auch insbesondere in dem Falle, wenn dieses nicht statt findet, der Einflufs der Wände so bedeutend, dafs Beobachtungsfehler auch bei der gröfsten Vorsicht unver-

---

1 Comment. Soc. Reg. Gott. Rec. T. V. Gott. 1828. p. 95.

2 Diss. de legg. Repuls. el. math. p. 5 ff.

meidlich sind. Man darf daher wohl mit Recht diese Versuche den Coulombschen um so mehr nachsetzen, als das aus den letzteren erhaltene Gesetz mit der Theorie vollkommen übereinstimmt.

2. Messung vermittelst horizontaler Pendel.

Den Versuchen mit der Drehwaage am nächsten kommen die mit Pendeln, welche auf einem feinen Stifte balancirt sind, und an deren Enden sich Kugeln befinden, welche von andern elektrisirten Kugeln angezogen und abgestoſsen werden. So viel ich weiſs haben nur zwei Physiker auf diese Weise das Gesetz der elektrischen Abstoſsung zu erforschen gesucht, und beide haben die erhaltenen Resultate auf eine verschiedene Weise berechnet, wie einzeln angegeben werden soll. Beide bedienten sich dabei zweier Zambonischer Säulen, deren Pole das horizontale Pendel abwechselnd anzogen und abstieſsen. Es lassen sich aber gegen diese Beobachtungsart im Allgemeinen mehrere gegründete Einwendungen aufstellen, welche evident beweisen, daſs auf diesem Wege das gesuchte Gesetz keineswegs mit genügender Schärfe erhalten werden kann [1]. Zuvörderst haben schon die Versuche mit magnetischen Declinationsnadeln gezeigt, daſs die auf einer noch so feinen Spitze balancirten Hebel eine zu groſse Reibung erleiden, als daſs man diese gehörig in Rechnung bringen könnte. Zweitens wird vorausgesetzt, daſs die Knöpfchen im Augenblicke der Berührung wieder abgestoſsen werden, allein dieses geschieht erst, nachdem sie alle $\pm$ Elektricität abgegeben, und dagegen $\mp$ E. angenommen haben. Drittens wird die elektrische Kraft in beiden Säulen gleich stark angenommen, und muſs dieses seyn, wenn regelmäſsige vollständige Neutralisirung und Ladung statt finden soll; allein die hierbei vorausgesetzte Bedingung findet selten oder nie vollständig statt. Viertens nimmt man an, daſs der Knopf jeder Säule bei der Berührung vollständig und mit dem andern gleich stark geladen sey; allein die Herstellung der elektrischen Ladung bei diesen Säulen hängt bekanntlich von verschiedenen Bedingungen ab, weswegen auch unveränderliche Pendel in ungleichen Zeiten zwischen ihnen schwingen. Fünftens liegt der Punct, von welchem die anziehenden und ab-

---

1 Vergl. Eckx a. a. O. p. 217.

stoſsenden Kräfte ausgehen, nach dem, was oben hierüber beigebracht ist, nicht im Mittelpuncte der Kugeln, wie bei der Berechnung angenommen wird, wenn sie nicht allzu verwickelt werden sollen. Sind nämlich Kugeln von gleichnamiger Elektricität mit einander in unmittelbarer Berührung, so ist wegen der gegenseitigen Repulsion beider Elektricitäten im Puncte ihrer gemeinschaftlichen Berührung nach Coulomb's und Mahon's[1] Versuchen und Poisson's Demonstrationen die Elektricität = 0, der Mittelpunct ihrer beiderseitigen Spannungen rückt dem Centro jeder Kugel näher, so wie sie sich von einander entfernen, und fällt bei gehöriger Entfernung in das Centrum derselben, ist also beweglich, worüber unmöglich Rechnung gehalten werden kann. Sechstens gerathen solche Pendel durch das Anstoſsen an die Kugel in gewisse Schwingungen einer durch ihren Schwerpunct gezogenen horizontalen Linie um den Unterstützungspunct nach Art des Zitterns der auf gleiche Weise balancirten Magnetnadeln, welche die eigentlichen Oscillationen ausnehmend stören. Parrot's Apparat habe ich zwar weder versucht, noch auch überhaupt gesehen, die durch v. Yelin construirte Libelle aber ist ein solches beberiges Ding, daſs es den Physiker mit Grauen erfüllen muſs, wenn er unbefangen an das Unternehmen geht, mit demselben ein physicalisches Gesetz zu begründen, und Boeckmann äuſserte daher mündlich gegen mich, es sey unmöglich, damit nur genäherte Resultate zu erhalten. Egen nennt es daher mit Recht ein verkehrtes Bemühen, aus so complicirten Erscheinungen ein einfaches Naturgesetz auffinden zu wollen.

Fig. 151. Parrot's Apparat[2] bestand aus einem messingenen Balancier AB mit messingnen Knöpfchen von 3 Par. Lin. Durchmesser an den Enden[3]. D und F sind die Kugeln von zwei gleichen Zambonischen Säulen, welche gleich stark angenommen werden, so daſs also die eine fortdauernd mit positiver, die andere mit negativer Elektricität von unveränderter Spannung geladen ist. Die Spitze, worauf der Balancier bei C ruhete, war vollkommen isolirt, so daſs also das nach der Berührung der Ku-

1 S. unten.

2 G. LX. 26. Entretiens sur la Physique. Dorpat 1822. 8. V. 79.

3 Die Versuche, wobei diese Knöpfchen fehlten, und die Spitzen angezogen wurden, übergehe ich.

gel D mit gleichartiger Elektricität geladene Knöpfchen A diese auch an B mittheilte, und dieses also von F angezogen wurde, während es selbst Zurückstofsung durch D erlitt. Bei zunehmender Entfernung wurden die hierdurch erzeugten Schwingungen langsamer, und aus den hiernach gemessenen Zeiten folgert PARROT, dafs das Gesetz einer im einfachen Verhältnifs der Abstände abnehmenden Anziehung mit den Resultaten dieser Versuche besser übereinkomme, als das Coulombsche. Die Gründe seiner Berechnungen will ich keiner näheren Beurtheilung unterwerfen. Wenn man indefs davon abstrahirt, dafs der Abstand eigentlich vom Mittelpuncte beider sich berührender Kugeln anzunehmen wäre, welches aber bei der geringen Entfernung aus den oben angegebenen Gründen, die Vertheilung der Elektricität über die Kugeloberflächen betreffend, nicht füglich angeht, dann aus den für gleiche Zeiten angegebenen Schwingungen die Zeitdauer einer jederzeit gleichen Anzahl von Schwingungen sucht, und die auf solche Weise erhaltenen Werthe nach der oben angegebenen Formel für die durch COULOMB angestellten Versuche berechnet, wonach für das umgekehrte quadratische Verhältnifs der Abstofsung die Schwingungszeiten den Abständen proportional seyn müssen, so erhält man folgende einander zugehörige Werthe:

Abstand der Kugeln	Zeitdauer von 18 Schwingungen	berechnet	
	beobachtet	A	B
2 par. Lin.	12,7 Sec.	12,7 Sec.	12,7
4 — —	24,5 —	25,4 —	25,4
6 — —	34,8 —	38,1 —	36,0
8 — —	46,9 —	50,8 —	46,6
10 — —	60,0 —	63,5 —	58,8

Bei der Berechnung unter A ist das einmal erhaltene Verhältnifs stets beibehalten, also 2: 4: 6... = 12,7: 24,4: 38,1...., bei der unter B sind allezeit die durch die Versuche erhaltenen Werthe genommen, also z. B. 6: 8 = 34,8: x. Die Differenzen der Rechnung und Beobachtung sind so grofs nicht, um mit dem Gesetze des quadratischen Verhältnisses der Abstofsung unvereinbar zu seyn, allein die Versuche bleiben immer zu mangelhaft, als dafs sie zum Beweise desselben dienen könnten.

Von Yelin[1] fand bei seinen Versuchen weder das Gesetz der im einfachen noch im quadratischen Verhältnisse abnehmenden Kraft der Abstoſsung, sondern erhielt für dasselbe eine Curve von der 5ten Ordnung. Seine Berechnung ist sehr weitläufig, allein Brandes[2] hat nachher gezeigt, daſs dieselbe unzulässig sey, und nach einer anderen, welche letzterer selbst mittheilt, sind die Resultate unter sich selbst so unvereinbar, daſs man nicht hoffen darf, durch sie der gesuchten Wahrheit näher zu kommen, weswegen mir eine weitere Betrachtung derselben überflüssig scheint.

3. Elektrometrie durch unmittelbare Wägung.

Unter die am meisten geachteten und mit Recht zu schäzzenden Versuche zur Bestimmung des Verhältnisses der Entfernung und der Stärke der elektrischen Abstoſsung gehören diejenigen, worin die letztere unmittelbar durch zugelegte Gewichtstücke gemessen wird. Solche sind die unlängst bekannten von Simon, und die neuerdings zur Prüfung derselben von Egen angestellten. Beide bedienten sich dazu einer sehr feinen Waage von möglichst isolirenden Substanzen, und eigends für diese verfertigter Gewichtstheilchen. Simon[3] verfertigte aus den feinsten Glasstäbchen, die er an einer Lampe so gerade wie möglich auszog, und ausgesuchte gleiche Stückchen an einander schmolz, einen zarten Waagebalken g b, über welchem er in der Mitte eine höchst feine Axe bei a anklebte, und unterhalb einen Zeiger a h anschmelzte. Die genaue rechtwinkliche Richtung der Zunge und des Waagebalkens gegen einander wurde vermittelst eines Bretes, auf welchem zwei Linien rechtwinklich auf einander gezogen waren, erhalten. Um das Gewicht der Zunge zu compensiren, wurde oberhalb derselben ein Stängelchen von Glas mit dem Metallknopfe p befestigt[4]. Der

Fig. 152.

1 Versuche und Beobachtungen zur näheren Kenntniſs der Zambonischen trockenen Säule u. s. w. München 1820. 4.

2 Schweigg. J. N. R. V. 45.

3 G. XXVIII. 277. Ein Mangel des Simon'schen Apparates liegt wohl darin, daſs er bloſs auf vollständige Isolirung bedacht war. Egen's Apparat ist daher ungleich besser.

4 In der Figur ist der vordere Theil der gekrümmten Glasröhre,

Träger des Waagebalkens bestand aus einem gekrümmten Glasstabe CD, welcher unterhalb in einen hölzernen Fuſs gekittet wurde, oberhalb aber die Pfannen für die Zapfen des Waagebalkens und in der Mitte den Gradbogen EF trug. Damit der Waagebalken einen hohen Grad der Beweglichkeit erhielte, lieſs SIMON die Axe desselben auf den beiden, an dem gekrümmten Glasstabe festgeklebten, und oben mit scharfen Schneiden zugeschärften, Stücken Gummilack b, c ruhen, und an dem Ende g desselben befand sich das horizontale Querstäbchen ed, um die nachher zu erwähnenden, aus feinen gebogenen Drahtenden bestehenden, Gewichttheilchen daran zu hängen. Als Gegengewicht diente diesem die Kugel von Hollundermark b, welche 0,4 Z. im Durchmesser haltend am andern Ende so aufgesteckt wurde, daſs ihr Centrum von der Mitte des Wagebalkens gleichweit abstand, als das Stängelchen ed am andern Ende, wonach also der vorher schon balancirte Waagebalken auf die Schneiden von Gummilack gelegt mit seiner Zunge genau auf 0° der Theilung einspielte. Es waren übrigens die Dimensionen dieses Apparates in rheinländischen Zollen: die Länge des Waagebalkens 8 Z.; die Stärke desselben an den Enden 0,02 Z., in der Mitte 0,04 Z.; die Stärke der Axen 0,005 Z.; die Länge der Zunge 4 Z.; die Stärke derselben oberhalb 0,02, unten 0,01 Z.; die ganze Länge der Tragstange 12 Z. Die Gewichte bestanden aus kleinen Ringen von feinem Drahte. Indem aber 0,1 Gran einen Ausschlag von 25 Graden der Theilung gab, also 0,01 Gran 2,5 Grade, von denen jeder $\frac{1}{8}$ Lin. groſs war, und wovon 0,25 noch genau genug geschätzt werden konnten, so betrug die Empfindlichkeit der Waage 0,001 Gran. Endlich gehörte zu diesem Apparate noch der Stab AB mit dem Schieber cd, an welchem eine Kugel e von gleicher Gröſse und Beschaffenheit als die beschriebene b an dem Glasstäbchen f befestigt war. Der Träger AB selbst war ein calibrirter Glasstab, 0,3 Z. stark, der Schieber cd eine mit Sammet gefütterte Glasröhre, welche beim Verschieben durch ihre Reibung an jeder Stelle festblieb, und das 3 Zoll lange Glasstäbchen f war mit Gummilack, eben wie der Waagebalken, zu besserer Isolirung überzogen.

Fig. 153. Fig. 154. Fig. 152.

SIMON stellte seine Versuche auf die Weise an, daſs er

---

sammt der Unterlage des Zapfens weggeschnitten, damit man auch hier dieses Knöpfchen sieht.

den beiden Kugeln, wenn sie sich (scheinbar) völlig berührten, und die Zunge des Waagebalkens auf 0° stand, Elektricität mittheilte, worauf sie sich von einander entfernten. Vorläufige Versuche ergaben dann, daſs die Grade, welche die Zunge zeigte, also auch der Abstand der Kugeln sich während 7 Minuten nicht merklich änderte, so daſs also füglich jeder Versuch ohne eine meſsbare Zerstreuung der Elektricität beendigt werden konnte. War dann der Ausschlag der Zunge gemessen, so wurden am andern Ende des Waagebalkens Gewichttheilchen angehängt, wodurch die Kugeln einander näher kamen, und ihre vergröſserte Repulsion muſste also nicht bloſs den Ausschlag des Waagebalkens, sondern auch das vermehrte Gewicht desselben überwinden, so daſs sich hieraus die Vermehrung der Repulsion finden lieſs. Hierbei müſsten eigentlich die Entfernungen der beiden Kugeln, oder welches einerlei ist, die Grade, welche die Spitze der Zunge des Waagebalkens durchlief, nach dem Sinus des Winkels gemessen werden; allein es ist oben unter 1, bei der Berechnung der Coulombschen Versuche gezeigt, daſs man bis 36° die Bogen dreist statt der Sehnen, also für 15° die Bogen statt der Sinus nehmen kann. Beträgt dann der Abstoſsungswinkel anfangs a Grade, nach dem Aufhängen von c Gewichttheilchen (deren jedes $\frac{1}{150}$ Gran betragen muſs, weil einem solchen Gewichte nach der oben angegebenen Untersuchung 1 Grad des Index zugehörte) aber b, so ist nach dem Coulombschen Gesetze des umgekehrten quadratischen Verhältnisses der Abstände, insofern die Entfernungen der Kugeln gleichfalls durch die Grade des Index gemessen werden,

$$a : b + c = b^2 : a^2.$$

Die Zunge des Waagebalkens zeigte nach Mittheilung der Elektricität auf 10 Grade. Simon hing, um sie auf 5° zurückzubringen, 35 Gewichttheilchen an, weil $10 : 5 + 35 = 5^2 : 10^2$ fand aber daſs hierdurch die Kugeln wieder zur Berührung gebracht wurden. Diese Erscheinung, welche nach mehrmaliger Wiederholung Simon bewog, das Coulombsche Gesetz für unrichtig zu halten, und zu dem des umgekehrten einfachen Verhältnisses der Entfernungen überzugehen, erklärt sich sehr einfach aus der Vertheilung der Elektricität über die Kugeln. Indem nämlich der Hebelarm des Waagebalkens eine gleiche Länge hatte, als die Zunge desselben, so gaben die Grade, deren jeder $\frac{2}{3}$ Lin. betrug, zugleich den absoluten Abstand beider Ku-

geln = $4\frac{1}{6}$ Linien. Die Summe ihrer gemeinschaftlichen Halbmesser betrug aber 4,8 Linien, und war also gröſser, als ihr Abstand; die Mittelpuncte ihrer elektrischen Wirkungssphären muſsten also über ihre geometrischen Mittelpuncte hinausgerückt werden; und indem dieses bei zunehmender Annäherung stets mehr geschah, so muſsten sie endlich zur Berührung kommen. Simon fand nachher durch mühsame Versuche, daſs für $c = 15$ die Entfernung auf die Hälfte herabkam, welches dann nach der Formel

$$10 : 5 + 15 = b^x : a^x$$

den Exponenten $x = 1$ giebt, also den Beweis enthält, daſs die elektrischen Repulsionen im einfachen Verhältnisse der Entfernungen abnehmen. Weil es aber zu viele Zeit raubte, die Entfernungen jedesmal auf die Hälfte herabzubringen, so elektrisirte Simon die Kugeln mit verschiedener Intensität, bemerkte die Abstoſsung, hing willkürliche Gewichte an das andere Ende des Waagebalkens, bemerkte die Grade der Abstoſsung, welche die Spitze der Zunge dann zeigte, und berechnete hiernach das fragliche Gesetz. Unter 20 Versuchen jedoch, welche nach der Hypothese des einfachen Verhältnisses der Abstoſsung berechnet sind, giebt nur einer gar keine Differenz zwischen der Beobachtung und Rechnung, zwei geben positive, 17 dagegen negative Differenzen, unter denen einige sehr bedeutend sind, so daſs also auch nach diesen Versuchen, wenn sie auf die angegebene fehlerhafte Weise berechnet werden, das aufgestellte Gesetz als nicht genau richtig erscheinen muſs.

Simon bemerkte schon bei der Anstellung seiner Versuche, daſs die wirklichen Entfernungen der Kugeln von einander geringer wurden als die berechneten, wenn dieselben durch aufgelegte Gewichte in gröſsere Nähe kamen. So hätten sie durch 21 Gewichttheilchen auf einen Abstand von 4 Graden kommen müssen, gingen aber 3,5 Grade herab, welches also einen Unterschied von 0°,5 oder fast eine halbe Linie gab. Er selbst leitete dieses von einem Zurückdrängen der Elektricität über die Nichtleiter ab, Gilbert aber richtiger von einer Entfernung der Mittelpuncte ihrer Wirkungssphären. Als letzterer dieses dem ersteren angegeben hatte, gestand auch dieser die Richtigkeit dieser Ansicht zu, versicherte aber, daſs aus diesem Grunde kleinere Kugeln und noch mehr bloſse Scheiben genauere Resultate gäben, beide von ihm zu Versuchen benutzt wären, und

dann um so bestimmter das von ihm aufgefundene Gesetz bestätigt hätten. Hiernach urtheilte also GILBERT, und so mufsten auch die übrigen Physiker annehmen, dafs ein auf so einfachem Wege durch unzweideutige Versuche gefundenes Gesetz das richtige sey. Merkwürdig ist es dabei, dafs GILBERT durch die angegebenen Betrachtungen nicht auf den Gedanken kam, es müsse die Entfernung überhaupt nicht nach dem Abstande der Oberflächen der Kugeln, sondern ihrer Mittelpuncte berechnet werden, welche zugleich die Centra ihrer elektrischen Wirkungssphären seyen, um so mehr, als COULOMB schon auf diese Weise seine Messungen angestellt hatte. Ich gestehe gern, dafs mir früher dieser Einwurf nicht in den Sinn gekommen ist, weil ich Versuche nicht nochmals prüfen zu müssen glaubte, welche durch so gewiegte Physiker bewährt gefunden waren, und so mag es vielen andern gleichfalls ergangen seyn.

Um so verdienstlicher ist es, dafs EGEN[1] nicht blofs diesen Fehler aufgedeckt, sondern auch mit Rücksicht auf denselben die sämmtlichen Beobachtungen von Neuem berechnet hat. Die Summe der Halbmesser beider Kugeln betrug 0,4 Z., also $4,8 \times \frac{6}{5} = 5,76$ oder in runder Zahl 5,8 Grade, und diesemnach die Abstände $a + 5,8$ und $b + 5,8$ Grade. Bleibt aber der Exponent des umgekehrten Verhältnisses der Abstände vorläufig unbestimmt, so ist

$$(a + 5,8)^x : (b + 5,8)^x = b + c : a$$

woraus

$$x = \frac{\log.(b + c) - \log. a}{\log.(a + 5,8) - \log.(b + 5,8)}$$

Hiernach hat EGEN die Simon'schen Versuche berechnet, und die folgenden Werthe für x erhalten, wobei die letzte Columne unter Δ angiebt, um wieviel b vergröfsert werden mufs, damit $x = 2$ werde.

1 a. a. O.

No.	a	b	c	x	Δ
1	11°,5	7°,5	10	1,6	0°,7
2	15,0	9,5	15	1,6	0,9
3	13,25	7,5	15	1,5	1,3
4	11,0	6,0	14	1,7	0,7
5	13,5	7,5	15	1,4	1,6
6	7,25	3,75	10	2,0	0,0
7	16,0	9,0	20	1,6	1,4
8	8,0	3,5	10	1,2	1,3
9	13,75	6,0	25	1,6	1,2
10	15,0	6,5	25	1,7	0,7
11	10,0	5,0	15	1,8	0,4
12	11,25	5,0	20	1,8	0,6
13	12,5	4,5	30	1,7	0,7
14	8,25	2,75	20	2,0	0,0
15	7,75	2,5	15	1,7	0,7
16	12,5	3,5	35	1,7	1,1
17	11,25	3,0	35	1,8	0,5
18	6,75	1,0	15	1,4	1,3
19	11,75	1,5	45	1,6	1,6
20	7,75	0,5	20	1,3	2,0

Die erhaltenen Werthe von x zeigen, daſs die Versuche mit dem Coulomb'schen Gesetze keineswegs im Widerspruche sind, vielmehr dasselbe bestätigen, auch geht die Genauigkeit des Beobachters daraus hervor, daſs der Theorie gemäſs die Werthe von Δ soviel gröſser sind, je weiter die beiden Ausschläge der Waage aus einander liegen, und je näher die Kugeln nach aufgelegten Gewichten einander kommen. Eine zweite Reihe von 18 Versuchen, welche Simon angestellt, und Egen gleichfalls nach der angegebenen Formel berechnet hat, giebt noch genauere Uebereinstimmung mit dem Coulomb'schen Gesetze. Die übrigen, zu derselben Reihe gehörigen 15 Versuche geben allerdings gröſsere Abweichungen, allein sie sind auch den angegebenen Fehlern am meisten unterliegend, weil die anfängliche Entfernung bei allen 15 Grade betrug. Die ersten 18 dagegen geben folgende Werthe:

No.	a	b	c	x	Δ
1	10°	9°	2,1	1,6	0°,2
2	10	8	4,5	1,6	,3
3	10	7	7,3	1,7	0,4
4	10	6	10,6	1,7	0,5
5	10	5	15,0	1,8	0,4
6	10	3,5	21,0	1,7	0,8
7	10	1,75	30,3	1,6	1,3
8	10	0,0	48,0	1,6	1,4
9	12	11	2,0	1,4	0,3
10	12	10	4,4	1,5	0,4
11	12	9	7,0	1,6	0,6
12	12	8	10,0	1,6	0,7
13	12	7	13,5	1,6	0,8
14	12	6	18,0	1,7	0,8
15	12	5	23,8	1,8	0,7
16	12	3,5	32,0	1,7	1,0
17	12	1,75	45,0	1,6	1,4
18	12	0,0	70,0	1,6	1,6

Sollten die sämmtlichen Versuche mit dem von Simon aufgestellten Gesetze in Uebereinstimmung gebracht werden, so erforderte b bei allen eine Verminderung von etwa 3 Graden, welche anzunehmen nirgend ein wahrscheinlicher Grund vorhanden ist.

Egen verfertigte sich zur Controlirung der Simon'schen Versuche und weiterer Prüfung des Coulomb'schen Gesetzes eine ähnliche Waage, als diejenige war, deren sich Simon bedient hat. Der eine Arm des Waagebalkens bestand aus Messingdraht, um den Schwerpunct willkürlich verändern zu können, der andere aus Gummi-Lack, jeder 3,5 rheinl. Decimalzolle lang. Als Axe dienten zwei feine Nähnadelspitzen, welche vermittelst etwas Gummi-Lack an den Waagebalken gekittet wurden, und auf Achatplatten sich leicht bewegten. An dem Arme von Gummilack befand sich eine Korkkugel 0,335 Dec. Zoll im Durchmesser haltend, am andern der kleine Draht zum Tragen der Gewicht-Ringe, und so wog er 1,522 Gramm. Die Ausschläge der Waage maſs Egen an einer verticalen Eintheilung, wovon jeder Theil 0,05 Decimalzoll betrug. Hiervon konnte der vierte Theil geschätzt werden, welcher 0,00001 Gramm zu

gehörte, so dafs also diese Waage über 5 mal empfindlicher war als die Simon'sche, aber dennoch durch die feinste Coulomb'sche 24 mal, und durch die 16 mal weniger empfindliche ⅛ mal übertroffen wurde. Ein zur Waage gehöriger Stab trug eine vierkantige Messingstange, auf welcher ein Schieber sanft auf und ab bewegt werden konnte. An diesem Schieber war ein 4 Dec. Zolle langer Arm von Gummi-Lack befestigt, und an dessen Ende eine Korkkugel gleichfalls von 0,335 Dec. Zoll Durchmesser. Die Gewichttheilchen bestanden aus Drahtstücken von einer besponnenen Guitarresaite, 0,034 Dec. Zoll lang, und gaben jeder im Mittel 1,7 Theile des getheilten Mafses Ausschlag. Weil aber letzterer nicht constant war, so wurde er jederzeit nach 4 bis 5 Versuchen aufs Neue geprüft.

Beim Experimentiren stand die Waage in einem Glaskasten. Nachdem sie zur Ruhe gekommen war, wurde ihr Stand abgelesen, die Kugel am Schieber mit ihr seitwärts in gleiche Höhe gebracht, der Stand des Schiebers genau bezeichnet, dann in die Höhe gerückt, seine Kugel genau lothrecht über die des Waagebalkens gebracht, und die Entfernung beider von einander bemerkt. Beide Kugeln wurden dann gleichnamig elektrisirt, und das andere Ende des Waagebalkens mit so viel Gewichten beschwert, bis der vorige Stand ohngefähr wieder hergestellt war. Dann wurde die Kugel des Schiebers um eine bekannte Gröfse erniedrigt, die Menge der Gewichtstücke vermehrt, bis der Waagebalken ohngefähr wieder auf seinen vorigen Stand zurückgekommen war, in beiden Fällen wurde der Stand des Waagebalkens genau abgelesen, wodurch also beide Abstände und beide Belastungen gegeben waren. Jeder Versuch dauerte etwa 20 Minuten, zwischen dem ersten und zweiten Einspielen der Waage vergingen aber höchstens 2 Minuten, und da die Elektricität sich binnen 5 Minuten nicht merklich zerstreuete, so können sonach die erhaltenen Werthe für hinlänglich genau gelten. Von allen mifslangen nur 3, mitgetheilt hat Egen aber nur die bei gröfseren Entfernungen der Kugeln angestellten. Die ersten 11 Versuche wurden mit schwacher, die folgenden 4 mit stärkerer und die letzten 5 mit noch stärkerer Elektricität gemacht. Egen hat in der sechsten Columne die Correction der ersten Belastung angebracht, welche erforderlich gewesen wäre, um das Coulomb'sche Gesetz genau zu geben. Er bemerkt hierbei, dafs diese Correctionen zuerst die Beobachtungsfehler der beiden Ent-

fernungen und Belastungen enthalten, dann die Gröfse, um welche auch hierbei die Mittelpuncte der elektrischen Repulsion über die geometrischen Mittelpuncte der Kugeln hinausgerückt wurden, und wenn man dann bedenkt, dafs 0,1 eines Gewichttheilchens aus einem Drahtstückchen besteht, welches mit bloſsen Augen nur auf hellem Grunde noch sichtbar ist; dafs ferner das Ansetzen von einigen Sonnenstäubchen, die Veränderung der Temperatur und des Feuchtigkeitszustandes der Luft das Gleichgewicht der Waage stören mufsten, so wird man nicht blofs die Genauigkeit der Versuche zu schätzen wissen, sondern auch gestehen müssen, dafs diese mit unter die feinsten gehören, welche die physikalische Literatur aufzuweisen hat.

Die folgende Tabelle giebt die Uebersicht derselben, wobei die Entfernungen in Theilen angegeben sind, deren 200 auf einen rheinl. Decimalzoll gehen, die Belastungen aber in den angegebenen Gewichttheilen, wovon 8,4=0,001 Gramm betragen.

No.	Erste Entf.	Zweite Entf.	Erste Belastung	Zweite Belastung	Correct. der ersten Belastung	x
1	276	211	0,9	1,3	—0,03	1,4
2	263	204	0,9	1,4	—0,1	1,7
3	256	189	1,2	1,8	—0,2	1,4
4	263	220	1,8	2,7	+0,1	2,3
5	267	201	2,8	5,8	+0,4	2,5
6	207	123	2,5	7,1	0,0	2,0
7	243	156	2,6	6,3	0,0	2,0
8	313	173	2,6	7,3	—0,4	1,8
9	298	175	2,6	8,3	+0,3	2,2
10	312	151	2,6	10,7	—0,1	2,0
11	251	163	2,7	6,6	0,0	2,0
12	326	231	3,0	6,5	+0,2	2,2
13	226	151	4,6	9,1	—0,5	1,7
14	220	148	6,2	12,9	—0,3	1,9
15	271	173	7,3	16,2	—0,5	1,9
16	209	159	10,0	16,1	—0,5	1,8
17	217	159	10,9	20,9	0,0	2,0
18	228	187	11,4	16,4	—0,5	1,9
19	209	159	12,6	21,9	0,0	2,0
20	239	133	13,0	40,5	—0,3	1,9

Der mittlere Exponent für die ersten 11 Versuche beträgt 1,94, für die zweiten 4 aber 1,92 und für die letzten 5 gleichfalls

1,92. Egen meint, es komme auch hierbei noch stets der Einfluſs der ungleichen Vertheilung der Elektricität über die Oberfläche der Kugeln in Betrachtung, und man könne überhaupt die äuſsern Einflüsse bei diesen Waagen weniger vermeiden, auch ihre Feinheit nicht so gut vergröſsern, als bei der Coulomb'schen Drehwaage. Allein die Schwierigkeiten und Störungen sind wohl bei beiden Apparaten gleich groſs, und überhaupt ist Egen dem Exponenten des Verhältnisses der Abstoſsung eben so nahe gekommen als Coulomb. Daſs er nicht wirklich 2 als mittleres Resultat erhalten hat, liegt daran, daſs sich doch stets ein Theil, wenn auch nur ein geringer, der Elektricität zerstreuet. In allen Versuchen ist a zuerst und b zuletzt gemessen. Würden einmal 20 Versuche in umgekehrter Ordnung angestellt; so würde wahrscheinlich b um so viel gröſser und a um so viel kleiner werden, daſs hiernach der mittlere Exponent eben so viel gröſser als 2 würde, als er hier kleiner ist.

4. Elektrometrie durch die Elongationswinkel lothrecht herabhängender Pendel.

Auf diese Weise sind die ersten, und seitdem auch die meisten elektrometrischen Versuche angestellt, ohne daſs jedoch die bei weitem gröſste Zahl derselben als nur mehr genügend gelten kann. Fast alle im vorhergehenden Artikel beschriebene Elektrometer beruhen auf dem Grundsatze, daſs die Kraft der elektrischen Abstoſsung durch den Winkel gemessen werden könne, welchen die sich abstoſsenden Körper mit einander bilden, obgleich die meisten derselben nur als Elektroskope zu betrachten, und zu eigentlichen Messungen nicht brauchbar sind. Im Allgemeinen lassen sich indeſs die hierher gehörigen Elektrometer unter zwei Classen bringen, nämlich zuerst diejenigen, bei welchen die Elektricität über die Oberfläche des ganzen elektrometrischen Körpers verbreitet ist, und diejenigen, bei welchen sie bloſs auf der Oberfläche von Kugeln zurückgehalten wird. Eine nähere Betrachtung beider wird ergeben, in wie fern sich nur die letzteren zu einer sicheren und leichten Elektrometrie eignen.

A. Messung mit Elektrometern, bei denen die Elektricität über die ganze Oberfläche der elektrometrischen Körper verbreitet ist.

Unter diese Classe gehören hauptsächlich als eigentliche elektrometrische Versuche diejenigen, welche J. T. Mayer[1] zur Prüfung des Coulomb'schen Gesetzes angestellt hat, und worauf das Publicum wegen der geübten Fertigkeit jenes berühmten Physikers im Experimentiren und seiner Gewandtheit in der genauen Berechnung der erhaltenen Resultate mit Recht ein vorzügliches Gewicht gelegt hat. Der Apparat, dessen sich Mayer bediente, bestand aus dem eigentlichen Elektrometer, einem sehr dünnen Grashälmchen $\alpha\beta$, 4 Z. lang und nur ¼ Gran schwer, welches in der zarten Welle c befestigt, nur in der verticalen Ebene sehr leicht beweglich war, indem die Welle c vermittelst höchst zarter stählerner Axen in den genau polirten Vertiefungen $\nu\nu$ mit verschwindender Reibung gedreht werden konnte. Dieses Hälmchen hing an der messingenen, einige Linien breiten, Stange cd herab, welche durch den rechtwinklich gebogenen isolirenden Glasstab def getragen wurde. Mit der messingnen Stange cd in unmittelbarer Berührung war der Messingdraht gk, welcher 0,5 Lin. dick durch die Glasröhre mn ging. Letztere ruhete auf dem lackirten hölzernen Stabe ih, welcher nebst dem Glasstabe def in das Bret LN eingelassen war. Ein Bleigewicht C gab diesem hinlängliche Festigkeit, und vermittelst der Schrauben μ, μ, μ, μ konnte es gestellt werden, um der Messingstange cd die genaue lothrechte Richtung zu geben. Durch den Knopf k und die Kette kr stand das Elektrometer mit der 4 bis 5 F. davon entfernten Flasche A in Verbindung, welche durch einen mit einer isolirenden Handhabe versehenen Leiter geladen wurde, und dann eine Abstofsung des Hälmchens $\alpha\beta$ bewirkte. Aus der Gröfse dieses Abstofsungswinkels bei wechselnder Intensität der elektrischen Spannung berechnete dann Mayer das Gesetz der elektrischen Abstofsung nach der Hypothese, dafs die Stärke derselben dem umgekehrten einfachen oder quadratischen Verhältnisse der Entfernung proportional sey.

Fig. 152.

---

1 Comment. Soc. Reg. Sc. Gott. recent. Vol. V. ad A. 1819—22. p. 91 ff.

Um für diesen Zweck ein bestimmtes Maſs festzusetzen, nahm Mayer als Einheit diejenige Abstoſsung an, wenn der Abstoſsungswinkel β c d = 90° betrug, wodurch manche Gröſsen, namentlich auch das Gewicht des Hälmchens aus den Formeln für die Berechnung wegfallen, und letztere daher geschmeidiger werden. Hatte das Elektrometer diesen Stand erreicht, welcher also die Spannung der Elektricität in der Flasche A als Einheit ausdrückte, und durch γ bezeichnet wird, so wurde vermittelst des isolirten Entladers eine zweite Flasche B von nahe gleich groſser innerer Belegung aus dem Knopfe der ersteren Flasche geladen, unter der Voraussetzung, daſs sich dann die Elektricität in beide Flaschen gleichmäſsig vertheilen müsse, wonach also nur $\frac{1}{2}\gamma$ in der ersteren A zurückblieb. Nachdem darauf B mit gehöriger Vorsicht entladen war, wurde sie abermals an A geladen, und dadurch der in dieser noch vorhandene Rest von $\frac{1}{2}\gamma$ abermals halbirt, und in dieser geometrischen Progression fort, wobei jedesmal der Winkel gemessen wurde, welcher diesemnach einer elektrischen Spannung $= \gamma$; $\frac{1}{2}\gamma$; $\frac{1}{4}\gamma$; ... zugehörte. Letzteres findet jedoch nur unter der Bedingung statt, daſs die Belegung von A der von B ganz gleich ist. Bei den von Mayer gebrauchten Flaschen war dieses nicht der Fall, allein es ergiebt sich bald, daſs dennoch die Werthe von γ leicht gefunden werden können, wenn die Belegung von A = S; die von B = s genannt, und dann statt der vorigen Gröſsen die folgenden, nämlich γ; $\frac{S}{S+s}\gamma$; $\left(\frac{S}{S+s}\right)^2\gamma$; $\left(\frac{S}{S+s}\right)^3\gamma$.... in Rechnung genommen werden. Heiſst dann allgemein die abstoſsende Kraft der Elektricität $\frac{1}{m}\gamma = \gamma'$, und wird für diese und den ihr zukommenden Abstoſsungswinkel $= \varphi$ eine Gleichung unter der Voraussetzung gesucht, daſs jeder Punct des Grashälmchens von jedem Puncte des messingenen Stabes c d im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung abgestoſsen werde, oder daſs, die abstoſsende Kraft = p, die Entfernung = z genannt, $p = \frac{\gamma}{z^2}$ sey, so findet Mayer durch eine vollständige analytische Entwickelung, welche hier in ihrer ganzen Ausdehnung mitzutheilen zu viel Raum erfordern würde, daſs

$$1.\ \frac{\gamma'}{\gamma} \text{ oder } \frac{1}{m} = \left(\frac{\text{Sin. } 22^\circ{,}5 \text{ Sin. } \varphi}{\text{Sin. } (45^\circ - \frac{1}{2}\varphi)}\right)^2$$

sey, für denjenigen Fall aber, wenn $p = \frac{\gamma}{z}$, oder die Abstoſsung dem einfachen Verhältniſs der Entfernung proportional ist, wird

$$2.\ \frac{\gamma'}{\gamma} \text{ oder } \frac{1}{m} = \frac{\text{Log. } (2 \text{ Sin. } 45^\circ)}{\text{Log. } (2 \text{ Sin. } \frac{1}{2}\varphi) + \beta\,(180^\circ - \varphi) \text{ Cot. } \varphi}$$

wobei $\beta = 0{,}00379$ ist, und vorausgesetzt wird, daſs das Grashälmchen βc genau so lang als die Messingstange cd sey. Mayer berechnet dann im Voraus nach beiden Hypothesen diejenigen Spannungen, welche den Abstoſsungswinkeln von 5 zu 5 Graden zugehören, und stellt sie in folgender Uebersicht zusammen.

Winkel φ	Spannung nach 1	Spannung nach 2	Winkel φ	Spannung nach 1	Spannung nach 2
5	0,0023	0,0231	50	0,2977	0,4422
10	0,0098	0,0520	55	0,3651	0,5065
15	0,0225	0,0860	60	0,4393	0,5732
20	0,0414	0,1247	65	0,5199	0,6419
25	0,0668	0,1679	70	0,6065	0,7123
30	0,0986	0,2154	75	0,6989	0,7835
35	0,1378	0,2677	80	0,7952	0,8556
40	0,1839	0,3220	85	0,8960	0,9279
45	0,2372	0,3805	90	1,0000	1,0000

Um die Nähe eines nach Graden getheilten Quadranten und zugleich die des Beobachters selbst zu vermeiden, stellte Mayer eine Tafel mit ihrer Ebene derjenigen Ebene parallel, in welcher sich das Grashälmchen bewegte, in einen Abstand von 4 bis 5 Fuſs hinter diese, trug mit einem Radius von 2 Fuſs einen in Grade getheilten Quadranten auf jene Tafel, brachte das Auge in die gehörige Entfernung, und projicirte die Winkel des Grashälmchens mit der Stange cd auf die Theilung der Tafel, um sie auf diese Weise ohne die sonst unvermeidliche Störung vermittelst einer Lorgnette abzulesen.

Weil bei jeder Entladung der Flasche A auf die mitgetheilte Ladung der Drähte Rücksicht genommen werden muſste, so wählte Mayer, um die letztere Gröſse verschwinden zu machen, groſse Flaschen, deren inwendige Belegung nahe 4 Par.

Quad. Fuſs betrug. Ganz gleiche konnte er indeſs nicht erhalten, fand aber A = 470 Par. Quadratzoll, B = 440. Vorläufige Versuche zeigten, daſs sich der Elongationswinkel des Grashälmchens, während einer ganzen Minute um keine meſsbare Gröſse änderte, und da die Zeit einer ganzen Beobachtung nicht länger als 2 Minuten dauerte, so kann der Einfluſs der Zerstreuung der Elektricität während dieser Zeit füglich vernachlässigt werden. Uebrigens verstattete die Leichtigkeit des Grashälmchens, daſs schon bei mäſsigen Ladungen eine Abstoſsung von 90 Graden erfolgte. Im Mittel aus mehr als 50 Versuchen erhielt Mayer für die elektrischen Abstoſsungskräfte = 1; $\frac{1}{2}$; $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{8}$; $\frac{1}{16}$ die Winkel = 90°; 55°,5; 34°,6; 20°,2; 11°,8. Nimmt man aber bei jenen ersteren Gröſsen auf die ungleichen Belegungen Rücksicht, wonach die Elektricitäten im Verhältniſs von $\frac{S}{S+s} = \frac{47}{91}$ vertheilt wurden, und sucht die zugehörigen Werthe durch eine einfache Interpolation aus den vorstehenden Tabellen, so gehören folgende Werthe zusammen.

Spannung nach der	berechneter Elevationswinkel		beobachteter Winkel
	nach 1	nach 2	
1ste Verth. $= \left(\frac{47}{91}\right)^1 = 0{,}516$	64,6	55,8	55,5
2te Verth. $= \left(\frac{7}{91}\right)^2 = 0{,}266$	47,3	35,0	34,6
3te Verth. $= \left(\frac{47}{91}\right)^3 = 0{,}137$	34,5	21,5	20,2
4te Verth. $= \left(\frac{47}{91}\right)^4 = 0{,}070$	25,1	12,6	11,3

Die Resultate der Versuche stimmen so genau mit der zweiten Hypothese überein, daſs Mayer nicht anstand, dieser beizutreten, und da auſserdem auch die früheren Versuche von Simon diese bestätigten, die von Parrot und von v. Yelin aber dieselbe gleichfalls unterstützten, so war es natürlich, daſs die Physiker im Allgemeinen diese entweder annahmen, oder die Frage mindestens bei so gewiegten widersprechenden Auto-

ritäten als zweifelhaft ansahen. Egen[1] war, so viel ich weifs, der erste, welcher sich entschieden für Coulomb's Hypothese erklärte, und daher gegen die Gültigkeit dieser Versuche einige gegründete Zweifel beibrachte.

1. Mayer habe die Vertheilung der Elektricität im Grashälmchen und im Messingstabe als gleichförmig angenommen, allein Flasche, Zuleitungsdraht und Elektrometer bilde einen so unregelmäfsigen Körper, dafs man hierüber gar nicht entscheiden könne, und eine Berechnung derselben ganz unmöglich sey. Wahrscheinlich werde die Schicht der Elektricität nach den Enden β und d zu dichter, wie dieses bei dünnen Cylindern und schmalen Streifen der Fall sey, allein dieses entscheide noch mehr für die zweite Hypothese, weil bei einer Anhäufung aller Elektricität an diesen Enden die Repulsionskräfte sich nach der ersten Hypothese wie die Cubi der Entfernungen[2], nach der zweiten wie die Quadrate derselben verhalten müfsten, da sie sich den Beobachtungen nach fast wie die einfachen Entfernungen verhielten. Eine Berechnung gab Egen daher unter dieser Voraussetzung nur nahe 0,5 als den Exponenten des Verhältnisses des Abstandes, und er sieht dieses Ganze daher nur als eine Einwendung gegen die Zulässigkeit der Versuche überhaupt an.

Hiergegen läfst sich aber mit Grunde der Zweifel erheben, dafs eben die Versuche die Ungültigkeit dieser Einwendung erwiesen, indem eine Abänderung der Voraussetzung noch weiter vom Coulomb'schen Gesetze entferne. Mir scheint vielmehr nicht sowohl aus der ungleichen Vertheilung der Elektricität in Beziehung auf die Enden des Elektrometers ein Einwurf gegen die Gültigkeit der Versuche zu folgen, indem zwar allerdings die Anhäufung hier gröfser seyn mufste, welches aber bei der Länge des Grashalmes mehr verschwindet, als vielmehr in einer Anhäufung derselben an den Kanten des Messingstabes c d. Es ist in der Abhandlung die Breite und Dicke desselben nicht genau angegeben, auch nicht gesagt, ob die Kanten abgerundet waren oder nicht, und obgleich Letzteres zu vermuthen ist, so kann es doch nicht bedeutend gewesen seyn, da dieser Theil des Elektrometers ein Blech von einigen Linien breit (lamina

1 Poggendorf Annal. V. 285.

2 S. unten B.

metallica, aliquot lineas lata) genannt wird. Die Breite von einigen Linien ist immer nicht unbedeutend gegen den sehr geringen Durchmesser des Grashälmchens, und da sich *an den Kanten* dieses Bleches die Elektricität vorzüglich anhäufen mußte, so wuchs die abstoßende Kraft derselben mit der Größe des Winkels φ, wonach die gemessenen Elongationswinkel allerdings kleiner ausfielen, als sie nach der Coulomb'schen Hypothese seyn mußten[1].

2. Die Vertheilung der Elektricität im Elektrometer ist, wie Egen ganz richtig bemerkt, nicht bloß ungleichförmig, sondern auch mit dem Winkel φ veränderlich. Weil nämlich die Vertheilung von der Form der Oberfläche abhängt, so muß sie sich mit dieser verändern, also wenn $\alpha\beta$ gegen cd in eine andere Lage kommt, und namentlich muß die Größe der elektrischen Repulsion mit der Verminderung des Winkels φ abnehmen. Liegt nämlich $\alpha\beta$ auf cd, so enthalten beide Körper nicht viel mehr Elektricität, als früher cd allein enthielt, weil die Oberfläche des Bleches durch die des Grashälmchens nur unbedeutend vermehrt wird. So wie aber φ wächst, häuft sich eine bedeutende Menge Elektricität auf $\alpha\beta$ an, und wird insbesondere nach der Spitze β hingedrängt, weswegen die Abstoßungswinkel stets um so kleiner werden, je näher beide einander rücken, und merklich kleiner, als sie bei einer stets gleichen Vertheilung seyn würden.

3. Aus mehreren Gründen, sagt Egen, konnte der Rest der in der Flasche A zurückbleibenden Elektricität geringer werden, als bei der Berechnung vorausgesetzt wird. Die Elektricität vertheilt sich nämlich nicht nach der Oberfläche zweier Leiter, sondern wenn die Leiter ähnliche Körper sind, so erhält der kleinere verhältnißmäßig mehr Elektricität, als der größere. Aus diesem Grunde wurde bei jeder Vertheilung mehr als $\frac{47}{91}$ der vorhandenen Elektricität entzogen. Weniger ist der Verlust an Elektricität durch den Entlader und durch die Zerstreuung in die Luft in Anschlag zu bringen.

---

1 Egen a. a. O. p. 88. hat durch Berechnung gefunden, daß die Breite des Bleches von keinem meßbaren Einflusse seyn konnte. Dieses ist allerdings richtig, sofern bloß von der Breite desselben die Rede ist. Betrachtet man dasselbe aber als kantig, und die Kanten nicht abgerundet, so ist die größere Dichtigkeit der Elektricität auf diesen Kanten allerdings von einigem Einflusse.

Ich gestehe, daſs ich diesem Einwurfe, so wie er hier aufgestellt ist, nicht beitreten kann. Allerdings findet eine den Gröſsen der Oberflächen nicht genau proportionale Vertheilung der Elektricität statt, wenn ungleich groſse leitende Körper mit einander in Berührung kommen, deswegen weil sie sich nach Poisson's und Coulomb's Untersuchungen stärker auf den dünneren Theilen der Leiter anhäuft; allein bei Mayer's Versuchen ist bloſs von Oberflächen auf isolirenden Glasscheiben die Rede, und da leidet es wohl keinen Zweifel, daſs bei einer in zwei ungleiche Theile zerschnittenen Belegung die Menge der Elektricität eines jeden der Theile seiner Ausdehnung proportional gefunden werden würde. Die Sache hätte sich leicht controliren lassen, wenn Mayer bei einem oder einigen Versuchen die Flaschen verwechselt, und A mit B vertauscht hätte. Mir scheint indeſs die Flasche überhaupt nicht für Versuche dieser Art geeignet zu seyn, weil man von der Stärke, womit sie einen Theil der mitgetheilten Elektricität gebunden hält, nie versichert seyn kann. Ich habe nämlich sehr oft bei einer Flasche mit beweglichen Belegungen (den Wilke'schen Platten) die Erscheinung beobachtet, daſs sie länger als eine Viertelstunde hindurch ganz als Elektrophor wirkte, d. h. daſs nach dem Losschlagen derselben und gleichzeitiger Berührung beider Belegungen mit zwei Fingern der nämlichen Hand die obere isolirt abgehobene Belegung einen merklichen Funken gab, und diesen Versuch habe ich wohl hundertmal nach einander wiederholt, ohne sehr bedeutende Verminderung des Funkens nach dem Aufheben der oberen Belegung[1]. In diesem Falle war also die Spannung der verbundenen Belegungen fast = 0 bei vorhandener starker Elektricität. Wenn man also annimmt, daſs die Flasche A die genannte Eigenschaft gleichfalls gehabt habe, die Flasche B dagegen nicht, so konnte letztere der ersteren die freie Elektricität in einem stärkeren Maſse entziehen, die gebundene aber am Elektrometer gar keine oder nur geringe Spannung zeigen. Dieser Einwurf kommt zum Theil mit demjenigen überein, welchen Egen

4. gegen die angegebenen Versuche geltend macht, nämlich daſs man nicht versichert seyn kann, ob das Glas beider Flaschen gleich dick war. Bezeichnet man bei einem Conden-

1 Vergl. *Elektrophor.*

sator[1] die auf der einen Seite freie Elektricität mit E, die freie und gebundene zusammen mit E′, so ist E : E′ = 1 — m² : 1, wobei m anzeigt, welchen Theil von E die auf der entgegengesetzten Seite gebundene Elektricität ausmacht. Der Werth von m hängt bei Flaschen lediglich von der Dicke[2] des Glases ab, und hat auf die Ladung E′ einen sehr bedeutenden Einfluſs, so daſs E in zwei Flaschen gleich, E′ aber verschieden seyn kann.

Die hier beigebrachten Einwürfe sind allerdings von der Art, daſs sie das Vertrauen zu den angegebenen Versuchen bedeutend schwächen müssen, obgleich die genaue Uebereinstimmung aller mit dem zweiten Gesetze sehr merkwürdig ist. In dem Umstande übrigens, daſs das eigentliche Centrum des elektrischen Wirkungskreises in den Theilen dieses Elektrometers nicht füglich genau bestimmt werden kann, liegt ein Hauptgrund gegen seine Anwendbarkeit zu Messungen; sonst lieſse sich dasselbe gebrauchen, wenn man groſse Kugeln statt der Flaschen anwendete, und mit beiden einen ganz gleichen elektrometrischen Apparat verbände.

Auſser den angegebenen Versuchen sind keine bedeutende, mit Elektrometern von der genannten Art angestellte, bekannt geworden, elektroskopische Beobachtungen dagegen und vergleichende Messungen der Stärke der erhaltenen Elektricität, an dem nämlichen Instrumente gemacht, sind in Menge vorhanden. Als Meſswerkzeuge gehören hierher die gesammten Blattgoldelektrometer, bei denen man jedoch nur im Allgemeinen von einer gröſseren Entfernung eines einzigen Blättchens vom zurückstoſsenden Körper, oder von der gröſseren Divergenz beider Blättchen von einander auf eine gröſsere Stärke der elektrischen Spannung schlieſsen kann. Sollte eine wirkliche Messung damit statt finden, so müſste auſser dem Abstoſsungswinkel noch das Gewicht der Blättchen nebst ihrer Steifheit bekannt seyn, und es müſsten nicht bloſs diese Gröſsen, sondern auch die Breite derselben bei der Auffindung einer Formel zu ihrer Berechnung berücksichtigt werden. Es würde dieses indeſs zu sehr verwickelten Rechnungen führen, und da dieselben auſserdem für jedes einzelne Instrument aufs Neue angestellt werden müſsten,

---

1 Vergl. Th. II. S. 240.

2 Nach meiner Ansicht kommt auch die isolirende Kraft des Glases, und zwar ganz vorzüglich, in Betrachtung.

so liegen hierin Gründe genug, diese Elektrometer sämmtlich in die Classe bloſser Elektroskope zu verweisen, wozu sie allerdings ganz vortrefflich sind, sowohl wegen ihrer Empfindlichkeit, als auch wegen der Leichtigkeit, womit sich durch sie die Art der Elektricität bestimmen läſst. Es ist diesemnach auch überflüssig, diejenigen Versuche näher zu prüfen, welche Parrot theils vermittelst einer in aliquote Theile zerlegten Zamboni'schen Säule, theils durch Vertheilung der Elektricität an Flaschen von verschiedener Gröſse, beidemale mit Anwendung eines Goldblattelektrometers, angestellt hat[1].

Unter diese Classe von elektrometrischen Messungen gehören auch diejenigen, welche mit den zahlreichen und verschiedentlich construirten Grashalmelektrometern angestellt werden. Indem diese Grashälmchen sehr fein, zugleich aber auch von gröſserer Stärke und genau bestimmtem Gewichte leicht zu erhalten sind, so scheinen sie sehr geeignet zu den feinsten bis zu den stärksten elektrometrischen Messungen. Kommt aber die Frage zur Untersuchung, in wie weit sie zu genauen Messungen angewandt werden können, theils um das Gesetz der elektrischen Repulsion zu bestimmen, theils um die absolute abstoſsende Kraft einer gegebenen Elektricität zu finden, so zeigen sich gar vielfache Schwierigkeiten, weil die Verbreitung des elektrischen Fluidums über diese Hälmchen nicht genau bekannt ist, wie aus den oben angestellten Betrachtungen hervorgeht. Wenn man indeſs diese Elektrometer bloſs zu relativen Messungen anwendet, so muſs durch die Stärke der Elektricität das Gewicht der Grashälmchen überwunden werden. Letzteres ist, eine durchaus gleichmäſsige Dicke derselben vorausgesetzt, in ihrer Mitte vereinigt anzunehmen. Das Gewicht also, womit jedes derselben, beide als gleich angenommen, herabzufallen strebt, ist $= \frac{1}{2}$ l. p. Sin. $\frac{1}{2}\,\varphi$, wenn l die Länge, p das Gewicht und φ den Abstoſsungswinkel beider beweglicher Halme bezeichnet. Bleibt hierbei das gebrauchte Elektrometer das nämliche, so ist die abstoſsende Kraft der Elektricität dem Sinus des halben Elongationswinkels proportional, sind aber bei verschiedenen Elektrometern die Abstoſsungswinkel gleich, so verhält sie sich wie das Product der halben Länge der Hälmchen

---

1 G. LXI. 274. Vergl. Entretiens sur la Physique par G. F. Parrot. Tom. V. p. 80.

in ihre Gewichte. Im Allgemeinen sind also die elektrischen Kräfte im zusammengesetzten Verhältnisse der Längen, der Gewichte und der Elongationswinkel, und da man statt der Sinusse bei kleinen Bogen die letzteren unmittelbar nehmen kann, so verhalten sich die elektrischen Kräfte bei dem nämlichen Elektrometer wie die Abstofsungswinkel, welches auch BOHNENBERGER[1] durch Messungen mit Zamboni'schen Säulen von verschiedener Stärke bestätigt gefunden hat. Es versteht sich, dafs das Centrum der elektrischen abstofsenden Kraft hierbei stets sich in gleicher Entfernung befinden mufs.

Unter die Elektrometer der letzteren Art gehört vorzüglich VOLTA's Strohhalmelektrometer, und es ist auffallend, dafs dieser grofse Physiker mit demselben das Gesetz des einfachen Verhältnisses der Entfernungen bestätigt fand. Seine Versuche ergaben nämlich, dafs der Elongationswinkel der Grashälmchen, welcher bei der Entfernung eines elektrisirten Körpers = 1 gleichfalls als Einheit angenommen wurde, bei einem Abstande desselben = 0,5 sich verdoppelte, bei 0,334 Abstand dreifach war[2] u. s. w., so dafs also die Abstofsungen den Entfernungen im einfachen umgekehrten Verhältnisse proportional waren. Merkwürdig bleibt es hierbei, dafs die Grashälmchen sowohl bei MAYER als auch bei VOLTA dieses Gesetz so bestimmt bestätigten. Inzwischen glaube ich nicht, dafs auch die Versuche des Letzteren aus den oben angegebenen Gründen als streng beweisen anzusehend sind, und dieses um so weniger, als bei dem von VOLTA gebrauchten Elektrometer die Abfsofsung durch die Wände des Glases, worin sein Elektrometer eingeschlossen war, ein bedeutendes Hindernifs machen mufste.

B. Messung mit Elektrometern, bei denen die Elektricität in einem Puncte vereinigt angenommen wird.

Unter diese Classe gehören alle diejenigen Elektrometer, bei denen Kugeln an fein isolirenden Fäden hängen. Soll die angegebene Bedingung statt finden, so müssen die Fäden zuerst isolirend seyn, damit nicht auch sie selbst Elektricität anneh-

---

1 G. LIII. 346.

2 A. Volta's meteorologische Briefe. Aus dem Ital. Leipzig 1793. I. 11 u. 67.

men, und Repulsion ausüben, und zweitens so leicht, dafs man ihr Gewicht gegen das der Kugeln füglich vernachlässigen kann. Endlich dürfen keine anders gestaltete Körper als Kugeln genommen werden, weil sonst die Elektricität ungleich über ihre Oberfläche verbreitet ist, und man das Centrum ihrer Repulsionskraft nicht so leicht bestimmen kann, welches bei Kugeln bekanntlich in ihrem geometrischen Mittelpuncte liegt.

Was für eine Substanz zu den Kugeln genommen werde, ist nicht gleichgültig. Meistens wählt man Kork oder das Mark trockner Hollunderzweige oder der Sonnenblumenstämme. Diese empfehlen sich allerdings sehr durch ihre grofse Leichtigkeit, haben aber den Nachtheil, dafs sie hygroskopisch wirken, wie Egen[1] an den Korkkugeln beobachtet hat, und bei denen von Hollundermark kaum zu bezweifeln ist. Ob sich ferner die Elektricität über ihre Oberfläche ganz frei und völlig gleichmäfsig verbreite, scheint mir bei der Lockerheit und Porosität dieser Substanzen fast zweifelhaft, und vielleicht liegt hierin zugleich ein Grund, warum Egen's Versuche das Coulomb'sche Gesetz nicht völlig genau gaben. Sobald es also mit der erforderlichen Leichtigkeit verträglich ist, sind möglichst dünne und polirte metallene Kugeln am meisten zu empfehlen.

Die Construction der Elektrometer dieser Art ist eine gedoppelte. Unter die erstere Classe gehören diejenigen, welche nach Art des Henly'schen Quadranten-Elektrometers aus einer festen Kugel und einer sie berührenden, an einem isolirenden Faden aufgehangenen, und in einer verticalen Ebene beweglichen zweiten Kugel bestehen. Sollen sie völlig genau messen, so müssen alle Theile derselben aus vollkommenen Nichtleitern bestehen, aufser den beiden Kugeln, auch mufs diesen die Elektricität auf eine solche Weise zugeführt werden, dafs die Abstofsung durch sie allein bewirkt wird. Die gewöhnliche Methode daher, diese Elektrometer auf die ersten Conductoren der Maschine zu stecken, so dafs letzterer gleichfalls Repulsion ausübt, läfst nur vergleichbare Versuche mit den nämlichen Elektrometern und ersten Leitern zu.

Die verschiedenen Arten der Messungen mit diesen Elektrometern ergeben sich leicht durch folgende Betrachtung. Es befinde sich in a das Centrum der abstofsenden Kraft, in b das

Fig. 156.

1 a. a. O. S. 296.

Centrum der abgestofsenen Kugel, und acb, der Abstofsungswinkel, heifse $= \varphi$; es sey ferner das absolute Gewicht der abgestofsenen Kugel $= p$, so wird die letztere auf einer geneigten Ebene herabzufallen streben, und ihr relatives Gewicht $p' = p$ Sin. φ seyn. Heifst dann die Kraft der elektrischen Spannung E, und soll diese dem Gewichte der Kugel $= p'$ gleich seyn, so ist einfach

$$E = p. \text{ Sin. } \varphi.$$

Es läfst sich auf diese Weise nicht blofs die Gröfse der Spannung verschiedener Elektricitäten durch das Gewicht ausdrücken, sondern man könnte sie auch mit der Elasticität der atmosphärischen Luft vergleichen, wenn man annähme, das letztere einer Quecksilbersäule von der Basis eines gröfsten Kreises der gebrauchten Kugeln und der jedesmaligen Barometerhöhe gleich sey, und unter der Voraussetzung einer der Elasticität proportionalen Dichtigkeit könnte man hieraus die Dichtigkeit der Elektricität finden. Ob aber diese Voraussetzungen richtig sind, ist noch nicht durch die Erfahrung aufgefunden. Bei allen diesen, und in der Folge noch zu erörternden Messungen wird indefs als nothwendige Bedingung vorausgesetzt, dafs der Mittelpunct des elektrischen Wirkungskreises jeder Kugel mit dem geometrischen Centro der letzteren zusammenfalle, welches um so weniger statt findet, je näher beide einander rücken, worüber oben schon das Nöthige gesagt ist. Die deswegen erforderliche Correction mit in Rechnung zu nehmen, liegt aufser den Grenzen der bisherigen Erfahrungen, indefs darf man die Messungen nur nicht mit zu kleinen Winkeln anstellen, um gegen diesen Fehler gesichert zu seyn. Endlich versteht es sich schon aus der ganzen Demonstration von selbst, dafs die Theilung des messenden Bogens vom Centrum der Kugel in a anfangen mufs.

Sollen mehrere Elektricitäten mit einander verglichen werden[1], so kommt das Gesetz des Verhältnisses der Entfernung zur Intensität der elektrischen Repulsion dabei in Betrachtung. Angenommen es solle dieses erst gefunden werden, so heifse der Exponent dieses Verhältnisses $= x$. Die geradlinige Entfernung der abgestofsenen Kugel ist $= ab$, wonach also die

---

1 Vergl. Francoeur Traité élémentaire de Mécanique. Par. 1807. 8. p. 118. Kaemtz a. a. O. p. 12.

Kraft der elektrischen Abstofsung $= \frac{E}{ab^x} = \frac{E}{2^x \text{ Sin. } \frac{1}{2}\varphi}$ ist, wenn man die Chorde a d durch 2 Sin. $\frac{1}{2}\varphi$ ausdrückt. Die abstofsende Kraft muſs aber so genommen werden, daſs sie auf die Kugel normal wirkt, welches durch die Linie b d ausgedrückt werden kann, und da $\frac{bd}{ad} = \text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi$ ist, so erhält man

$E \frac{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi}{2^x \text{ Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi}$. Diese Repulsionskraft muſs das Gewicht der Kugel überwinden, welches, wie oben gezeigt ist, $= \text{p. Sin. } \varphi$ ist. Hieraus wird also

$$E = p \frac{2^x \text{Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi \text{ Sin. } \varphi}{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi}$$

Für eine andere elektrische Repulsion, mit dem nämlichen Instrumente gemessen, wobei also der Winkel φ sich in φ' verwandelt, hat man

$$E' = p \frac{2^x \text{ Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi' \text{ Sin. } \varphi'}{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi'}.$$

Hiernach also erhält man das Verhältniſs

$$E : E' = \frac{\text{Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi \text{ Sin. } \varphi}{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi} : \frac{\text{Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi' \text{ Sin. } \varphi'}{\text{Cos. } \frac{1}{2}\varphi'}$$

und da Sin. $\alpha = 2$ Sin. $\frac{1}{2}\alpha$ Cos. $\frac{1}{2}\alpha$ ist, so hat man

$$E : E' = \text{Sin.}^{x+1} \tfrac{1}{2}\varphi : \text{Sin.}^{x+1} \tfrac{1}{2}\varphi'.$$

Haben dann E und E' bekannte Werthe, z. B. $E = 1$; $E' = \frac{1}{2}$ u. s. w. so findet man

$$x + 1 = \frac{\log. E - \log. E'}{\log. \text{Sin. } \frac{1}{2}\varphi - \log. \text{Sin. } \frac{1}{2}\varphi'}.$$

Miſst man aber mit verschiedenen Elektrometern, bei denen das Gewicht der abgestofsenen Kugel ein anderes ist, so ist für gleiche Abstofsungswinkel

$$E : E' = p : p';$$

welches die oben gegebene Formel ist, und dazu dient, die Stärke der elektrischen Abstofsung aus dem Gewichte der gebrauchten Elektrometer zu finden. Es versteht sich von selbst, daſs für ungleiche Werthe von p und p', so wie von Sin. φ und Sin. φ',

$$x + 1 = \frac{\log. E + \log. p' - \log. E' - \log. p}{\log. \text{Sin. } \frac{1}{2}\varphi - \log. \text{Sin. } \frac{1}{2}\varphi'}.$$

Darf es als ausgemacht angesehen werden, dafs sich die elektrischen Repulsionen umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Entfernungen, so hat man einfach

$$E : E' = \text{Sin.}^3 \tfrac{1}{2}\varphi : \text{Sin.}^3 \tfrac{1}{2}\varphi'.$$

Nimmt man hierbei eine gegebene Stärke der elektrischen Repulsion und den ihr zugehörigen Sinus des halben Abstofsungswinkels als Einheit an, so ist

$$E' = \text{Sin.}^3 \tfrac{1}{2}\varphi'$$

G. G. Schmidt[1] giebt ein bequemes Mittel an, die Elektrometer hiernach zu graduiren. Es sey die Chorde ae diese Einheit. Indem sich nun die Sinus der halben Bogen verhalten wie die Chorden der doppelten Bogen, so ist $E' = \text{chord.}^3\, \varphi$. Man trage also das Doppelte, Dreifache, Vierfache u. s. w. der Chorde ad von a aus auf den Bogen adb, und schreibe dabei die Cubikzahlen von 1; 2; 3; 4 u. s. w., so zeigen diese Grade die Gröfse der elektrischen Repulsion an. Soll endlich die Stärke der elektrischen Abstofsung durch das Gewicht ausgedrückt werden, so ist

$$E' = \frac{p.\ \text{chord.}^3\, \varphi}{ac}.$$

Man darf also nur das Gewicht der Kugel durch die Länge des Halbmessers des Pendels = ca in solchen Theilen ausgedrückt, wozu die Chorde ae die Einheit giebt, dividiren, und den Quotienten mit den eben genannten Graden des Elektrometers multipliciren.

Die zweite Classe von Elektrometern dieser Art ist diejenige, bei denen beide Kugeln an isolirenden Fäden herabhängen. Alles was oben rücksichtlich der Kugeln, der isolirenden Fäden u. s. w. gesagt ist, gilt aus leicht begreiflichen Gründen auch von dieser Classe, und eben so führt die Berechnung der Art ihrer Wirkung auf die nämlichen Resultate. Es seyen zu diesem Ende die Kugeln an den Fäden in a und b aufgehangen, so werden sie sich einander abstofsend stets ein gleichschenkliches Dreieck mit dem Winkel $acb = \varphi$ bilden. Die Abstofsung geschieht auch hier in der Richtung der Chorde ab, und es ist also die Kraft der elektrischen Abstofsung $= \frac{E}{ab^x}$. Berücksichtigt man, dafs auch hierbei die Abstofsung im Verhältnifs von

Fig. 157.

1 Handbuch der Naturlehre. Giefsen 1813. I. S. 427.

ad : ab also von Cos. $\frac{1}{2}\varphi$ statt findet, und wird für ab der trigonometrische Ausdruck gesetzt, so ist die abstofsende Kraft wie oben $= \frac{E \text{ Cos. } \frac{1}{2}\varphi}{2^x \text{ Sin.}_x \frac{1}{2}\varphi}$. Diese Kraft mufs das Gewicht der Kugel überwinden, welches = p. Sin. $\frac{1}{2}\varphi$ ist. Obgleich nämlich zwei Kugeln herabzufallen streben, so ist doch nur das Gewicht der einen zu überwinden, welches von der andern balancirt wird. Dabei ist vorausgesetzt, dafs beide Kugeln gleich schwer sind, und daher genau ein gleichschenkliches Dreieck bilden. Ist dieses nicht der Fall, so würde die Formel p. Sin. $\frac{1}{2}$ φ eine Aenderung erleiden. Unter der angegebenen Bedingung aber, nämlich wenn beide gleich schwere Kugeln herabhängend ein gleichschenkliches Dreieck bilden, wäre dann aus

$$\frac{E. \text{ Cos. } \frac{1}{2}\varphi}{2^x \text{Sin.}^x \frac{1}{2}\varphi} = \text{p Sin. } \frac{1}{2}\varphi$$

$$E : E' = \text{Sin.}^{x+1} \tfrac{1}{2}\varphi : \text{Sin.}^{x+1} \tfrac{1}{2}\varphi'$$

wonach die Berechnung, wie oben, weiter geht. Dafs man übrigens bei kleinen Bogen die Grade füglich statt der Sinus oder der Chorden setzen könne, versteht sich von selbst, jedoch sind die zu kleinen Bogen wegen der aus ihren folgenden Ungewifsheit über das Centrum der elektrischen Atmosphären zu vermeiden.

Unter den Versuchen, welche mit einem Elektrometer dieser Art angestellt sind, erwähne ich die bekannten von Lord Mahon[1], wodurch er die Beschaffenheit der elektrischen Atmosphären, und hiernach das Gesetz der elektrischen Abstofsung den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional auffand. De Lüc[2] hat gegen die Einwürfe Volta's die Genauigkeit jener Versuche dargethan, und so verdienen auch die elektrometrischen Messungen Zutrauen, wodurch er das Coulomb'sche Gesetz auffand. Wäre dasselbe indefs nicht noch anderweitig bestätigt, so liefse sich allerdings die ungewöhnliche Kleinheit des gebrauchten Elektrometers dagegen einwenden, welches aus Korkkugeln von höchstens 0,1 Z. Durchmesser an den fein-

---

1 Principles of Electricity with an analysis of the superior advantage of high and pointed Conductors. Lond. 1779. 4. Deutsch mit Anm. von Seeger. Leipz. 1789. 8.

2 Neue Ideen über die Meteorologie I. §. 320.

sten leinenen Fäden hängend und durch eine Stange Siegellack isolirt bestand. Inzwischen konnte bei diesem geringen Durchmesser der Kugeln der Unterschied zwischen den Mittelpuncten der elektrischen Atmosphären und der Kugeln am wenigsten einen merklichen Fehler der Messungen erzeugen. EGEN[1] bemerkt jedoch, dafs er versucht habe, das Gesetz der elektrischen Abstofsung vermittelst kleiner Korkkugeln, welche an feinen seidenen Fäden aufgehangen und mit Leichtigkeit in verschiedene Entfernungen von einander zu bringen waren, aufzufinden, allein dabei zu der Ueberzeugung gelangt sey, dafs dieses auf dem angegebenen Wege nicht mit Leichtigkeit geschehen könne.

Ueberblicken wir also nochmals die bisherigen Bemühungen der Physiker, das Verhältnifs der Entfernungen zu den elektrischen Abstofsungen aufzufinden, so ergiebt sich sehr bald, dafs es an Fleifs und Sorgfalt zur Aufhellung dieses Gegenstandes nicht gefehlt hat, und wenn die Resultate nicht vollkommen übereinstimmten, vielmehr bedeutend von einander abwichen, so lag die Schuld hiervon hauptsächlich an der grofsen Schwierigkeit der Aufgabe. Uebrigens aber vereinigen sich die meisten und genauesten Versuche dahin, das aus theoretischen Gründen mit grofser Zuverlässigkeit folgende Gesetz der den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportionalen Abstofsung als richtig zu betrachten. Darf man aber dieses annehmen, so gewähren die bisher bekannten Elektrometer genügende Mittel, um entweder durch unmittelbare Anwendung derselben, oder mit einiger Verbesserung ihrer Construction sowohl das Gesetz der Abstofsung weiter zu prüfen, als auch die absolute Repulsivkraft der Elektricität zu messen. Für das Letztere würde aber erforderlich seyn, einen übereinstimmenden Bau der Elektrometer und genaue Bestimmung des Gewichtes der abgestofsenen Kugeln einzuführen, wozu mir DE LÜC's Fundamental-Elektrometer mit einem hinlänglich langen Zuleitungsdrahte, an dessen anderem Ende h übrigens die abstofsende Kugel unmittelbar befestigt seyn müfste, indem eine isolirende lothrechte Stange das Hypomochlion p des Pendels mit der abgestofsenen Kugel trüge, am geeignetsten scheint. Die Kugeln selbst müfsten dann von Metall und von verschiedenem genau

Fig. 142.

1 a. a. O. S. 294.

bestimmten Gewichte seyn, wenn man, namentlich die Stärke der Elektricität bei Maschinen, messen wollte[1].

M.

Elektrophor.

Beständiger Elektricitätsträger; *Electrophorus perpetuus;* Électrophore perpétuel; *Electrophor;* ein seit dem Jahre 1775 durch ALEXANDER VOLTA eingeführtes Instrument, wodurch man eine lange Zeit elektrisiren kann, ohne die E. aufs Neue erregen zu dürfen. Es vertritt die Stelle einer sehr einfachen und wohlfeilen Elektrisirmaschine.

Schon vor der Erfindung des, im engeren Sinne sogenannten, Elektrophors war dasselbe unter einer andern Form seinen wesentlichen Bestandtheilen nach schon dargestellt. Der um die Elektricitätslehre so hoch verdiente WILKE hatte nämlich schon im Jahre 1762 in seinen Untersuchungen über die entgegengesetzten Elektricitäten[2] eine Art von beständigem Elektrophor an einer entladenen Glasscheibe, deren isolirte Belege sich von derselben nach der Entladung abziehen und wieder daran anbringen liefsen, den Physikern in die Hände gegeben. Er bemerkte[3], dafs diese Belege, nachdem man den el. Stofs durch Anlegung der Hände an dieselben herausgenommen, und zum Ueberflusse dieselben eine kurze Zeit damit in Berührung gelassen hatte, 1. zwar nicht die geringste E. mehr zeigen, so lange sie am Glase liegen, sobald man sie aber beide, oder jede für sich vom Glase abführt, eine überaus starke Funken gebende E. zeigen, die in ihnen von entgegengesetzter Natur ist, und zwar in der während der Ladung positiv gewesenen Belegung sich als negative, in der negativen Belegung dagegen als positive verhält; 2. dafs diese Elektricitäten wieder gänzlich verschwinden, wenn man die beiden Belege, ohne sie zu berühren, wieder zum Glase führt; 3. dafs wenn man diese Elektri-

1 Da die sogenannte *unterirdische Elektrometrie*, die durch PENNET u. a. ausgeübte Metall - und Wasser-Fühlerei, mit der eigentlichen Elektrometrie durchaus nichts gemein hat, überhaupt aber nicht zur Elektrometrie gehört, so ist sie hier ganz übergangen. Vergl. *Elektrophor* a. E. und *Kraft*.

2 Schwed. Abh. für das Jahr 1762. XXIV. Band.

3 a. a. O. S. 271.

citäten von den Belegen, so lange sie vom Glase entfernt sind, durch Berührung ableitet und wieder gegen das Glas führt, diese Belege abermals freie E., aber in einem viel schwächeren Grade, und zwar nunmehr die entgegengesetzte von derjenigen zeigen, die sie vorher getrennt darboten; 4. dafs, wenn sie nun, ohne berührt zu werden, abgehoben sind, sie gar keine E. zeigen; 5. dafs aber die Belege sich wie im ersten Versuche verhielten, wenn sie mit beiden Händen zugleich an das Glas gedrückt und darauf abgehoben werden; 6. dafs endlich auf diese Art das Glas viele Tage und Wochen nach einander die Belege merklich elektrisiren könne, so oft auch der Versuch wiederholt werde, und dafs dieses Vermögen bei heiterem und trockenem Wetter sich oft von selbst im Glase wieder einfinde.

Auch Beccaria hatte unter den Namen des *Electricitas vindex*[1] dergleichen Versuche, wie sie das eigentliche Elektrophor zeigt, namentlich mit zwei Glasplatten, deren metallische Belege durch isolirende Handgriffe abgezogen werden konnten, bekannt gemacht. Indefs behält Volta das unstreitige Verdienst, diesem für die Theorie der E. besonders interessanten Werkzeuge seine jetzige bequeme Einrichtung gegeben, und es mit jenem eigenen Namen in die Geräthschaften der Experimentalphysik eingeführt zu haben. Er kam darauf durch die Veranlassung seines Streites mit Beccaria über des letzteren Grundsatz, der sich selbst wieder herstellenden E. (*Electricitas vindex*). Er leugnete, dafs ein Leiter und ein durch Reiben erregter el. Körper bei ihrer Verbindung ihre Elektricitäten ablegten, und bei der Trennung wieder ergriffen, und behauptete vielmehr, dafs die Elektricitäten nur so lange, als sich einer im Wirkungskreise des andern befände, im Gleichgewichte ständen, oder unwirksam würden, d. h. einander bänden. Er zeigte dieses durch einen auf eine geriebene Harzplatte gesetzten isolirten Leiter, und da Harzplatten ihre durch Reiben erregte E. sehr lange behalten, so gab dieser Versuch das Instrument, dem er den Namen *Elettroforo perpetuo* beilegte, so wie er die so erregte E. *elettricita vindice indeficiente* nannte. Im Junius 1775 theilte Volta die erste ausführlichere Nachricht von seinem Apparate und den damit anzustellenden Versuchen in einem

1 Dell' Elettricismo artificiale etc. Fol. Bologna. 1772.

Briefe an Priestley[1] mit, welchem mehrere Briefe an einige andere Physiker folgten[2]. Die erste Erscheinung des Elektrophors, welche theils durch Privatbriefe, theils durch kleine Schriften bald bekannter wurde[3], war den Physikern fast eben so räthselhaft, als es ehemals der Leidner Versuch gewesen war. Doch sah man bald, dafs sich die Erscheinungen dieses Werkzeuges nicht anders, als durch die Gesetze der el. Wirkungskreise erklären lassen. Die Bekanntmachung des Elektrophors ist daher die Epoche, seit welcher man auf diese bis dahin immer noch vernachlässigte Lehre aufmerksam geworden ist, so dafs dieses Instrument der Theorie eben so viel Vortheil als der Praxis gewährt hat. In Deutschland haben die Versuche mit dem Elektrophore unter den Händen Lichtenberg's auf die interessante Entdeckung der nach ihm benannten el. Figuren geleitet, auch knüpften sich durch Jac. Chr. Schäffer zwei sonderbare Pendelschwingungen an dasselbe an, die in derselben Gegend 30 Jahre später wieder aufgenommen, wenigstens in Deutschland für eine kurze Zeit ein so grofses Aufsehen machten, und bis auf den heutigen Tag noch räthselhaft da stehen.

Einrichtung des Elektrophors.

Die wesentlichen Theile eines Elektrophors nach der gleich anfangs von Volta angegebenen Einrichtung sind der *Kuchen*, die *Form* und der *Deckel*. Kuchen und Form zusammen heifsen die *Basis* oder *Unterscheibe*, der Deckel oder Schild (*clypeus, scudo*, wie ihn Volta auch nennt) wird im Gegensatz damit auch die *Oberscheibe* genannt.

Der *Kuchen* besteht aus einer Platte von einer nicht leitenden harzigen Materie. Volta empfiehlt als vorzüglich brauchbar eine Mischung aus drei Theilen Terpentin, zwei Theilen

1 Scelta di Opuscoli interessanti di Milano. Tome IX. pag. 91. und Tome X. pag. 37.

2 S. auch Lettre de Mr. Alex. Volta sur l'électrophore perpetuel de son invention. In Roz. Observ. etc. T. VII. Juillet 1776. p. 21. und Collezione dell' Opere del Cavaliere Carlo Alessandro Volta. T. I. pag. 105. ff.

3 Lettre de Mr. l'abbé J. (Jacquet) de Vienne à l'Auteur de cet Recueil. Observ. de Rozier. Tome VII. 1776. Juin 501. auch ins Deutsche übersetzt, mit Anmerkungen von A. H. Wien 1776.

Harz, und einem Theile Wachs, und läfst diese einige Stunden hindurch zusammen kochen, indem er am Ende etwas Mennig zur Erhöhung der Farbe untermischt. Er bediente sich auch des bloſsen Gummilacks, anderer harziger Materien und des Schwefels. Das bloſse Pech oder reines burgundisches Harz, ist weniger brauchbar, weil die Masse zu spröde wird. Dr. Pickel giebt eine Zusammensetzung von 5 Theilen Gummilack (in Tafeln), 3 Theilen reinen Mastix, und zwei Theilen venetianischen Terpentin an, welche zusammen in Leinwand gebunden in einem neuen irdenen glasirten Geschirre bei gelindem Kohlenfeuer zerlassen, durch die Leinwand gedrückt, und entweder noch flüssig in die Form gegossen, oder nach dem Erkalten gepulvert, aufgestreut und wieder zerlassen wird. Eine sehr wohlfeile Mischung, die Jacquin angiebt, besteht halb aus Colophonium und halb aus weiſsem Pech mit etwas Terpentin und Zinnober zum Färben der Masse. Der Kuchen zu Lichtenberg's groſsem Elektrophore war aus einer Mischung von gemeinem Harze, Terpentin und Burgundischem Pech geschmolzen. Der Abbé Robert[1] fand als eine vorzüglich gute und die durchs Reiben erregte E. lange an sich haltende Masse eine Mischung aus 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen Jungfernwachs, 2 Theilen venetianischen Terpentin und ½ Theil Pech. Ich selbst fand eine Mischung aus 8 Theilen Colophonium, 1 Theil Schellack, und 1 Theil venetianischen Terpentin vorzüglich brauchbar.

Fig. 158. Die *Form* oder der *Teller* aa wird gewöhnlich aus einer runden metallenen oder auch hölzernen, mit Zinnfolie oder Silberpapier überzogenen Scheibe verfertigt, mit einem aufwärts gebogenen 2 bis 5 Linien hohen Rande (nach der Dicke, die man dem Kuchen geben will), welcher das Abflieſsen der hineingegossenen Harzmasse verhindert. Es muſs jedesmal so viel harzige Composition aufgegossen werden, daſs die Oberfläche mit dem höchsten Theile des Randes vollkommen gleich steht, und man vom Rande des Tellers nichts als die äuſsere Kante sieht. Damit aus der harzigen Masse beim Schmelzen alle Feuchtigkeit und Luft soviel möglich verjagt werde, muſs sie in dem irdenen Topfe eine hinlängliche Zeit (nach der Gröſse des Elektrophors und der auf einmal geschmolzenen Masse) über dem

1 Goth. Magazin für das Neueste, u. s. w. VII. Bd. 3 St. S. 87. ff.

Feuer erhalten werden, doch muſs das Feuer mit gehöriger Vorsicht regiert werden, damit sie nicht anbrenne, indem hierdurch ihr idioelektrisches Vermögen sehr leidet. Weil beim Aufgieſsen stets Blasen im Harze bleiben, so muſs man glühende Platten oder am besten einen recht heiſsen Stahl, wie man ihn gewöhnlich zum Plätten der Wäsche gebraucht, bereit halten, und diesen nahe an die Blasen bringen, ohne jedoch das Harz zu berühren, damit die Blasen von der Hitze zerspringen, und die an der Oberfläche wieder flüssig gewordene Masse sich in eine Ebene verbreiten. Dadurch kann man einen Harzkuchen im Teller erhalten, der der Ebene und Glätte eines Spiegels sehr nahe kommt. Es verdient jedoch bemerkt zu werden, daſs die Harzhaut, welche sich in diesem Falle oben auf gebildet hat, und die spiegelnd glänzende Oberfläche ausmacht, sey es nun, daſs ihre gröſsere Cohäsion oder eine schwache Oxydation, die sie erlitten, daran Schuld ist, für die Erregung der E. durch Reiben sich nicht so günstig zeigt, als wenn man diese Harzfläche durch feines Bimssteinpulver abreibt, wodurch sie zwar ihre spiegelnde Glätte, aber nicht ihre Ebene verliert, und sehr an Wirksamkeit gewinnt, wie namentlich der Probst Eberle bei der Verfertigung des groſsen Elektrophors für das Wiener Cabinet fand[1]. Nachher im Elektrophor entstandene Risse können zur Noth gleichfalls durch Ueberfahren mit einem recht heiſsen Eisen zugeschmelzt werden.

Eine Dicke des Harzkuchens von anderthalb Linien, ist bei kleineren Elektrophoren hinreichend, wie schon Volta bemerkt, aber bei gröſseren Kuchen von anderthalb bis zwei Schuhen kann man dem Harzkuchen auch wohl eine Dicke von 4—5 Linien geben, die bei den gröſseren Elektrophoren, wie z. B. demjenigen Lichtenberg's schon darum nöthig ist, weil sonst der aus dem aufgehobenen Deckel hervorbrechende Funken den dünnern Kuchen durchbohren könnte, um nach der Form zu gelangen.

Für gewisse Arten des Gebrauches des Elektrophors, namentlich bei der el. Lampe, ist an irgend einer Stelle des Randes ein schmaler Stanniolstreifen von einer solchen Länge, daſs der in der Mitte aufliegende Deckel denselben mit seinem Rande berührt, auf den Harzkuchen mit etwas Hausenblase geleimt,

1 Heidmann's vollständige Theorie der Elektricität. I. Bd. S. 54.

und steht mit dem metallenen Ueberzuge der Form in Verbindung. Er vertritt die Stelle des Fingers, der sonst den Deckel während des Aufruhens auf dem Kuchen berühren mufs, wenn derselbe nach dem Aufheben E. zeigen soll.

Der *Deckel* oder *Schild* bb, oft auch, wenn er ein hoher Cylinder ist, die *Trommel* genannt, besteht aus einem isolirten Leiter, der ringsum etwa 1 oder 1½ bis 2, und bei sehr grofsen Elektrophoren auch wohl 4 bis 6 Zoll schmäler ist, als der Kuchen, und auf denselben genau anschliefsend, bequem aufgesetzt und abgehoben werden kann. Am wohlfeilsten und leichtesten macht man ihn aus einem Reif von steif geleimten Pappendeckeln, über welchen oben und unten Leder, Papier, oder dünne Leinwand gespannt, dann aber alles rund umher mit Zinnfolie überzogen wird, so dafs die äufsere Fläche ein vollkommener metallischer Leiter ist. Man kann aber auch eine metallene messingene oder zinnene, am Rande wohl abgerundete, und daselbst etwas dickere Scheibe nehmen. Um diesen Deckel isolirt abheben und aufsetzen zu können, werden an drei oder vier gleich weit von einander abstehenden Orten des Umkreises Löcher schief durchgebohrt, und seidene Schnüre oder Bänder durchgezogen, die man in der Höhe von etwa 10 Zollen zusammenknüpft, oder es wird, was im Ganzen den Vorzug verdient, und welche Einrichtung Volta seinem Elektrophore gleich im Anfange gab, in der Mitte der zum Deckel gebrauchten Scheibe ein gläserner, wohl überfirnifster Handgriff aufgekittet, welcher besonders den Vortheil gewährt, dafs man den Deckel auch in andere Lagen, als in die blofse horizontale bringen kann.

Fig. 158.

Fig. 159.

Geprefste Elektrophore.

Diese verdienen vor allen andern den Vorzug, und sind besonders bei den el. Lampen zu empfehlen, bei welchen so viel daran gelegen ist, dafs sowohl durch das Reiben starke E. erregt werde, als dafs sich diese auch so lange wie möglich erhalte. Alle in Formen gegossene Elektrophore haben den Nachtheil, dafs, da sie mit ihrem Umfange an dem aufstehenden Rande der Form fest anhängen, sie sich nach dem Wechsel der Temperatur nicht frei ausdehnen und zusammenziehen können, und daher in der Kälte leicht Risse bekommen, in der Wärme aber sich erheben, und eine convexe Oberfläche annehmen.

Aufserdem ist es kaum möglich, bei dem gewöhnlichen Verfahren die Oberfläche vollkommen eben darzustellen, wovon es doch wesentlich abhängt, dafs der Deckel mit seiner ebenen Oberfläche so genau und vollkommen, wie möglich, anschliefsen könne. Allen diesen Unvollkommenheiten wird durch das nachfolgende Verfahren abgeholfen.

Auf einer vollkommen ebenen gut polirten Marmorplatte wird ein Stück Zinnfolie, etwas gröfser als der Kuchen des Elektrophor werden soll, ausgebreitet, und auf dieselbe ein Ring von dem Diameter und der Höhe des Harzkuchens aufgesetzt, entweder von Blei oder Holz, um welchen gleichfalls Stanniol übergeschlagen wird, so dafs die Harzmasse nicht in Berührung mit dem Holze oder Bleie kommen kann. In diese Form wird die oben von mir empfohlene Masse gegossen, und nachdem sie so weit erkaltet ist, dafs die obere Fläche noch etwas weich ist, wird eine Stanniolplatte und auf diese eine zweite gleichfalls vollkommen ebene Marmorplatte, oder auch eine Scheibe von recht ebenem Spiegelglase aufgelegt, und mit Gewichten bis zu 10 Pfund beschwert, die man etwa 24 Stunden darauf liegen läfst. Durch dieses Pressen bekommt die Harzplatte eine vollkommen ebene Oberfläche, vorausgesetzt dafs die aufgelegte Marmorplatte oder Glasscheibe hinlänglich eben war, worauf man sich bei einer guten Spiegelscheibe verlassen kann. Der erhaltene Harzkuchen adhärirt nicht an dem Stanniol des Ringes, oder kann wenigstens leicht davon losgetrennt werden. Er wird dann auf derselben Stanniolplatte, auf welche er gegossen war, auf eine hölzerne Unterlage gelegt, und um ihn daselbst festzuhalten, kann man eine hölzerne Umgebung über den Kuchen oberhalb etwas greifen lassen, die man durch hölzerne Schrauben an die Unterlage befestigt. Zum Deckel dieser geprefsten Elektrophore mit ganz freiem, nirgend angeschmolzenem, Kuchen, bediene ich mich runder Scheiben von Spiegelglas, welche an ihrer Unterfläche auf das sorgfältigste mit Stanniol, oder Silberschaum überzogen, an ihrem Rande umher durch einen wohl abgerundeten zinnenen Ring, der frei darauf liegt, und den Rand einschliefst, gegen alles Ausströmen von E. gesichert, und in ihrer Mitte mit einer wohl überfirnifsten Glasstange als Handhabe versehen sind, und welche unten eine wohl überfirnifste hölzerne Fassung haben, die in eine auf das Glas gekittete hölzerne Schraube eingeschraubt wird.

Die beiden gröfsten ausgeführten Elektrophore sind der in Göttingen von dem dasigen Mechanicus Klindworth verfertigte, und ein noch gröfserer im physikalischen Cabinet zu Wien[1]. Die Harzscheibe des ersteren hatte 7 Schuhe im Durchmesser, und ½ Z. Dicke, und es waren 56 Pfund Harzmasse dazu erforderlich. Der Deckel, massiv von Zinn, hielt 6 Pariser Fuls im Durchmesser, etwa 2 Linien dick, mit umgerolltem Rande, um das Ausströmen zu verhindern. Bei seinem grofsen Gewichte von 76 Pfund mufste er durch einen Flaschenzug auf und nieder gelassen werden. Er war an 13 vier Fufs langen Schnüren aufgehängt, die in Ringe, welche in den Deckel gegossen, befestigt und oben in einen grofsen Ring vereinigt waren. Am äufsern, mit Zinnfolie belegten, Rande der Tafel, in welcher der Harzkuchen gegossen war, befand sich ein Haken mit einer Kette, an deren Ende eine 14 zöllige Kugel hing, welcher Haken mit einem 4 Zoll langen, 1 Zoll breiten, in die untere Tafel eingelassenen Messingstreifen in Verbindung stand. Diese Vorrichtung mit der Kette und Kugel diente, um diejenige Verbindung mit dem Deckel herzustellen, die man sonst mit der Hand macht, weil der dabei entstehende Schlag der Hand zu empfindlich war. Der grofse Elektrophor, mit welchem Lichtenberg seine Versuche anstellte[2], hatte nur 6 Pariser Fufs im Durchmesser in der Basis, und fünf im Deckel. — Noch gröfser als jener Göttinger Elektrophor ist derjenige im Cabinet zu Wien, dessen ganze Basis 8 Schuhe, der Harzkuchen allein 7 Schuhe 9¼ Zoll im Durchmesser und eine Dicke von zwei Zoll hat, zu dessen Verfertigung 5¼ Centner von der von Jacquin empfohlenen Mischung erforderlich waren, der Dekkel 10 Zoll im Durchmesser kleiner als die Harzscheibe, aus einem Reife des stärksten Pappendeckels bestehend, der zuerst mit Leinwand, dann mit Zinnfolie gut überzogen ist, und mit vier starken Seidenschnüren mittelst eines doppelten Flaschenzuges auf- uud niedergezogen wird. Die leitende Verbindung der Form mit der Trommel, wenn sie auf dem Harzkuchen ruht, wird vermittelst eines Stanniolstreifens hergestellt, wie er oben beschrieben ist[3].

---

1 Lichtenberg's Magazin u. s. w. Bd. 1. St. 2. S. 35.

2 Novi Commentarii. Tom. VIII. 168.

3 Heidmann, vollständige Theorie u. s. w. I. 53.

Statt der harzigen kann man auch andere idioelektrische Substanzen, welche durch Reiben eine eigenthümliche starke E. annehmen, zur Basis des Elektrophors gebrauchen. Vor allen kann dazu das Glas dienen, wie dann das Elektrophor in den Händen Wilke's zuerst unter dieser Form erschien, und nur die Unwissenheit der Franzosen in fremder Literatur macht es erklärlich, dafs Aubert[1] viele Jahre nachher mit seinem Glaselektrophor als mit einer neuen Erfindung auftreten konnte. Nimmt man ein Spiegelglas zur Basis, so vertritt schon die Belegung mit Spiegelfolie die Stelle der Form. Man hat auch seidene und wollene Zeuge zur Basis des Elektrophors gebraucht, welche man am besten in einen Rahmen spannt, und so in freier Luft in eine horizontale Lage bringt[2]. Man darf auch nur einen elektrisirten seidenen Strumpf u. d. g. auf den isolirten Deckel legen, um Wirkungen zu erhalten, die denen des Elektrophors ähnlich sind.

Vilette zu Lüttich hat einen Papierelektrophor aus einem halben Bogen Papier angegeben, welcher stark erhitzt, und mit einem seidenen Tuche oder rauhen Felle gerieben wird. Er hat daraus lebhafte Funken erhalten und Leidner Flaschen damit geladen.

Erscheinungen und Gebrauch des Elektrophors.

Man errege die E. des Kuchens durch Reiben. Ist derselbe, wie gewöhnlich, von einer harzigen Composition bereitet, so wird die Erregung am besten gelingen, wenn man mit trockenem, warmen Hasen- oder Katzenfelle oder Flanell reibt. Das allerbeste ist, mit einem doppelt zusammengelegten warmen und trockenen Stücke Flanell, das man mit beiden Händen hält, auf den Kuchen zu schlagen, und bei jedem Schlage den Flanell über den ganzen Kuchen hinweg gegen sich zu ziehen, oder den Kuchen auf eben diese Art, doch stets nach derselben Richtung, zu peitschen, wozu auch ein Fuchsschwanz treffliche Dienste leistet. Durch öftere Wiederholung dieses Schlagens oder Reibens kann man die E. des Kuchens bis zu einem

1 Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. V. Bd. 3tes St. S. 96. ff.

2 S. *Luftelektrophor*.

gewissen Maximum ansehnlich verstärken. — Schäffer fand von 6 maligem bis hundertmaligem Reiben im Kreise die Funken immer noch verstärkt, und ich gelangte gleichfalls beim Schlagen erst nach 120 Schlägen an die Grenze der Verstärkung. Die harzige Scheibe, einmal erregt, insbesondere die der gepreſsten Elektrophore, behält, wenn der Deckel darauf liegen bleibt, die einmal erregte E. Monate und Jahre lang.

Bedient man sich einer Glasscheibe, so dient zur Reibung derselben am besten ein mit Almagama eingeriebenes Leder.

Ein so erregter Elektrophor zeigt folgende Erscheinungen:

1. Setzt man den Deckel, indem man ihn an dem isolirenden Handgriffe hält, auf die Basis, und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, so zeigt er keine E. Ist jedoch der Harzkuchen durch Reiben sehr stark el. geworden und hat der Deckel etwa einige Unebenheiten, so kann er, auch ohne berührt zu werden, durch Mittheilung einige E. erhalten, und dann, ohne vorher berührt worden zu seyn, beim Aufheben einen schwachen Funken geben.

2. Setzt man den Deckel wie in No. 1. auf die Basis, welche nicht isolirt ist, und berührt ihn, so erhält man einen kleinen schneidenden Funken, berührt man dagegen mit dem einen Finger die Form, mit dem andern den Deckel, so fühlt man einen erschütternden Schlag, wie aus einer schwach geladenen Leidner Flasche. Berührt man den auf den Harzkuchen isolirt aufgesetzten Deckel im Dunkeln, um den Funken daraus zu ziehen, so sieht man zugleich die in der Nähe der Form befindlichen Körper, die mit einem sehr dünnen Ueberzuge eines guten Leiters versehen sind, z. B. die vergoldeten Leisten einer Commode, leuchten.

3. Nach diesen Berührungen zeigt weder der Deckel noch die Form weiter einige Spuren von E.

4. Hebt man hierauf den Deckel mit den Schnüren oder der Glasstange isolirt auf, entfernt ihn genugsam von der Basis, und berührt ihn wieder, so erhält man einen oder mehrere stechende Funken, wie von einem gewöhnlichen durch die Umdrehung der Elektrisirmaschine geladenen Conductor. Diese Funken sind stärker, wenn man den Deckel und die Form zugleich, als wenn man nur den Deckel allein berührt hat. Auch in diesem Falle beim Herausziehen des Funkens aus dem auf-

gehobenen Deckel nimmt man dasselbe Leuchten der gleichen Umgebungen wie bei No. 2 im Dunkeln wahr.

5. Die E. des berührten und dann aufgehobenen Deckels ist derjenigen des Kuchens oder der Basis entgegengesetzt. Beim Harzkuchen ist sie demnach positiv (doch hat Volta bei einem Kuchen von harziger Mischung die sonderbare Anomalie entdeckt, dafs derselbe, er mochte ihn nun mit der Hand, mit irgend einem Stoffe, mit Papier u. s. w. reiben, stets positiv elektrisirt wurde[1], bei der Glasbasis, die durch Reiben mit Amalgama elektrisirt worden ist, negativ.

6. Die E. des aufgesetzten noch nicht berührten Deckels ist dagegen derjenigen der Basis gleichartig.

7. Das No. 2—4 beschriebene Verfahren läfst sich, so oft man will, wiederholen, ohne dafs der Kuchen etwas merkliches von seiner E. verliert, bis ihm endlich nach längerer Zeit Luft und Feuchtigkeit dieselbe entziehen. So kann man von einer einzigen Reibung oft Monate lang el. Funken erhalten, daher das Instrument der *beständige Elektricitätsträger* genannt worden ist. Dasselbe gilt auch für den Wilke'schen Elektrophor, der aus einer Ladungsscheibe, deren Belege von ihr getrennt werden können, besteht, und nach vorhergegangener Ladung entladen, keine weitere Reibung wie der gewöhnliche Elektrophor erfordert, um unter denselben Umständen, wie die von No. 2 — 4 angeführten ununterbrochen Funken von ungeschwächter Stärke Stunden und Tage lang zu geben, nur dafs besonders bei feuchter Witterung seine Wirksamkeit früher abnimmt, und sich endlich ganz verliert.

8. Man isolire die Basis so vollkommen wie möglich, und errege durch Reiben die negative E. des Harzkuchens. Sogleich wird die Form freie negative E. zeigen, wie man sich durch ein Strohhalm- oder Korkkugelelektrometer überzeugen kann, das man mit der Form in Verbindung setzt. Setzt man den Deckel auf den Kuchen, so zeigt auch ersterer, durch ein Elektrometer geprüft, negative E., und die der Form nimmt etwas an Stärke ab. Berührt man hierauf den Deckel, ohne zugleich die Form zu berühren, so erhält man einen Funken, der jedoch schwächer ist, als wenn man denselben Versuch bei nicht isolirter Basis anstellt, die E. des Deckels verschwindet gänzlich,

1 Journal de Physique 1776. VII. Juill. p. 23.

auch die Kügelchen oder Strohhälmchen des mit der Form in Verbindung stehenden Elektrometers gehen langsam zusammen, bis zur Berührung, und dann wieder von neuem aus einander mit entgegengesetzter positiver E.

9. Hebt man den Deckel, nachdem man ihn einseitig berührt hat, in die Höhe, indem die Basis fortwährend isolirt bleibt, so gehen die Kügelchen des mit der Form in Verbindung stehenden Elektrometers abermals langsam zusammen, und nachdem sie sich berührt haben, von neuem aus einander, und zwar wieder, wie im Anfange des vorigen Versuches der Fall war, mit negativer E. Der aufgehobene Deckel zeigt positive E., jedoch in einem geringeren Grade, als wenn man den Versuch bei nicht isolirter Basis angestellt hat.

10. Wenn man wie in den vorigen Versuchen verfährt, die schneidenden Funken aus dem auf dem Kuchen ruhenden Deckel nimmt, und eine Verbindung zwischen dem Deckel und der noch isolirten Form macht, so erhält man einen neuen mehr erschütternden Funken, Form und Deckel zeigen dann keine weitere Spur von E. — hebt man aber den Deckel auf, so zeigen beide freie E., und zwar das Maximum, was sie überhaupt zeigen können, der Deckel positive, die Form negative. Es versteht sich von selbst, daſs wenn man statt erst einseitig den Deckel berührt zu haben, sogleich eine Verbindung zwischen der Form und dem Deckel durch den Finger macht, man auch sogleich den erschütternden Funken erhält, ungeachtet in diesem Falle beide Belege des Harzkuchens (denn diesen Namen verdienen der Deckel und die Form) einerlei freie negative E. besitzen.

11. Wird der Deckel nach der Berührung aufgehoben, und ohne dann in der Höhe berührt worden zu seyn, wieder niedergelassen und aufgesetzt, so sind Form und Deckel ganz todt, und ohne einige Merkmale von E.

Alle diese Erscheinungen, besonders aber die von 8—11 lassen sich vorzüglich lehrreich an demjenigen Elektrophore darstellen, welcher aus einer Ladungsscheibe besteht, deren Belege von derselben abgezogen werden können. Am besten dient dazu eine in einem Rahmen gefaſste Scheibe, die mit seidenen Schnüren senkrecht in einem Gestelle aufgehängt ist, das aus zwei Paar senkrechten Glassäulen besteht, welche oben durch einen quer gehenden Glasstab vereinigt sind. Zu den Belegen

dienen zwei dünne, recht ebene, Messingscheiben, mit etwas dickerem wohl abgerundetem Rande, die in senkrechter Stellung an Glassäulen, die in einem soliden Fuſs von überfirniſstem Holze eingelassen werden, befestiget sind. So kann man beide Belege oder nach Willkür auch nur eines von der Glasscheibe und zwar in vollkommen isolirtem Zustande abziehen, während beim gewöhnlichen Elektrophore die Form stets mit dem Kuchen verbunden bleibt. Hat man die Scheibe geladen und dann entladen, indem man zwischen beiden Belegen eine leitende Verbindung gemacht hat, so findet gerade derselbe Zustand statt, den der gewöhnliche Elektrophor zeigt, wenn man den Deckel auf den, durch das Reiben elektrisirten, Kuchen aufgesetzt, und diesen und die Form mit den Fingern berührt hat. Zieht man die beiden Scheiben dann isolirt ab, so zeigen sie entgegengesetzte Elektricitäten, und zwar jede derselben auch die entgegengesetzte von derjenigen, mit der sie vorher geladen gewesen war. Beraubt man sie durch Berührung ihrer E., und drückt sie beiderseits wieder an die Glasscheibe im isolirten Zustande an, so zeigen sie abermals freie E., aber die entgegengesetzte von derjenigen, die sie abgezogen hatten, nur dem Grade nach etwas schwächer. Berührt man beide mit dem Finger, wobei man einen schwachen erschütternden Funken erhält, und zieht sie abermals ab, so wiederholt sich die erste Erscheinung. Ich habe auf diese Weise ganze Stunden hindurch lange Funken aus den beiden Scheiben ausziehen können, doch waren hier, wenn die Funken aus den abgezogenen Scheiben genommen wurden, die negativen Funken der einen Scheibe etwas länger, als die positiven der andern, wenn nämlich die Ladung der Scheibe vom positiven Conductor ausgegangen war.

Man wird aus diesen Phänomenen des Elektrophors seinen Gebrauch leicht abnehmen können. Der berührte und von der Basis abgezogene Deckel thut nämlich alle Dienste eines elektrisirten Conductors, an dem man die Wirkungen der el. Anziehung wahrnehmen, einen Funken ziehen und eine Flasche laden kann, wenn man den Funken aus dem Deckel in ihren Knopf schlagen läſst, indem man die Flasche an ihrer äuſseren Belegung mit der Hand umfaſst, oder diese sonst mit dem Erdboden verbindet. Zwar ist mit dem ausgezogenen Funken auf einmal alle E. des Deckels erschöpft, man kann ihm aber dieselbe durch ein neues Aufsetzen auf den Kuchen, Be-

rühren und Abheben, sogleich wieder geben, und indem man auf diese Weise wiederholt Funken in den Knopf der Flasche schlagen läſst, die Ladung derselben immer mehr verstärken, bis auf den Punct, wenn die freie Spannung der E. in der Flasche einen Grad erreicht hat, der gleich ist dem Grade der el. Spannung des aufgehobenen Deckels. Man kann auch eine Flasche auf ihrer inneren Belegung negativ laden, wenn man sie auf den Deckel stellt, mit demselben negativ aufzieht, und dann ihren Knopf berührt, oder wenn man sie beim Knopfe hält und den Funken aus dem Deckel in die äuſsere Belegung schlagen läſst. Solchergestalt vertritt der Elektrophor die Stelle einer Elektrisirmaschine, die er nebenbei an Wohlfeilheit übertrifft, und kann wegen seiner geringen Gröſse und der langen Dauer seiner E. nach einer einmaligen Erregung durch Reiben sehr bequem zu vielen el. Versuchen gebraucht werden.

Vermittelst geladener Flaschen kann man die Kraft eines Elektrophors beträchtlich verstärken, wie schon Volta dieses sinnreiche Verfahren angegeben hat. Man ladet nämlich erst eine Flasche durch den Deckel des Elektrophors, stellt dieselbe auf den Kuchen, faſst den Knopf mit der Hand und führt die Flasche mit ihrer äuſseren Belegung auf dem Kuchen hin und her. So entladet sich die äuſsere Belegung allmälig durch Abgeben ihrer negativen E. an den Kuchen, während die positive E. durch den Finger eben so stufenweise und ohne eine Erschütterung zu ertheilen abflieſst, und die Basis wird dadurch eine weit stärkere — E., als durch bloſses Reiben, erhalten. Entläſst die Flasche nichts mehr, indem man sie auf diese Weise fortrückt, so ladet man sie wieder, und verfährt wie zuvor, bis man mit der Flasche auf dem ganzen Kuchen herum ist. Nur muſs man sich in Acht nehmen, daſs man mit der Flasche dem äuſsern Rande der Form, wenn nämlich der Elektrophor nicht isolirt ist, nicht zu nahe komme, weil sich sonst dieselbe leicht durch einen starken Funken auf einmal entladen kann, in welchem Falle man dann von der Erschütterung getroffen wird. Um dieses zu vermeiden, kann man daher auch so verfahren, daſs man, wenn man die Flasche auf die Basis gestellt hat, durch einen Auslader eine Verbindung zwischen dem Knopfe und der Form herstellt, und die Flasche mit einer Glasröhre über den Elektrophor auf dem ganzen Theile seiner Ebene, auf welchem der Deckel beim Gebrauche aufruht, fortschiebt. War der

Elektrophor erst ungemein schwach, und konnte daher die Flasche nur erst schwach durch denselben geladen werden, so wird der, durch die Entladung der Flasche auf demselben verstärkte Elektrophor diese Flasche seinerseits stärker laden, der Elektrophor erhält also auf diese Weise die ganze Verstärkung im Grunde aus sich selbst, und dieses giebt ihm noch mehr Ansprüche auf die Benennung eines *beständigen Elektricitätsträgers.* Fährt man mit dem Knopfe der geladenen Flasche, welcher + E. hat, auf dem Kuchen hin und her, indem man die — E. haltende Belegung in der Hand hält, so erhält der Kuchen + E., wodurch anfänglich seine durch Reiben vorher in ihm erregte — E. aufgehoben wird, und im Fortgange ein Ueberschufs von + E. entsteht[1]. Durch diese Verstärkungsmittel, indem man selbst ganze Batterieen statt einzelner Flaschen zu Hülfe nimmt, und man den Elektrophor in grofsen Dimensionen ausführt, kann man seine Wirkungen denjenigen der stärksten Elektrisirmaschinen ganz gleich machen. Aus dem isolirten Teller des Klindworth'schen Elektrophors zog man nach dem Reiben mit dem Hasenfelle Funken von 4—6″, machte man die Verbindung zwischen der Form und dem Deckel mit der Hand, so erhielt man einen erschütternden Funken wie aus einer starken Leidner Flasche, drei bis vier Funken des aufgehobenen Deckels luden eine Leidner Flasche von einem Quadratfufs Belegung so stark, dafs sie ausströmte. Die Funken des aufgehobenen Deckels fuhren oft blitzähnlich von einer Länge von 15″ und der Dicke eines Gänsekiels auf die Harztafel, und zerschmetterten das Harz.

Theorie des Elektrophors.

Dafs sich die Erscheinungen dieses Werkzeuges ganz auf Vertheilung gründen und ihre Erklärung aus der Theorie der el. Wirkungskreise schöpfen, ist schon aus dem Perpetuellen desselben klar, welches nicht statt finden könnte, wenn der geriebene Harzkuchen etwas von seiner E. mittheilen sollte. Zwar trug Jacquet in der ersten ausführlichen Nachricht vom Elektrophore, in welcher übrigens die Erscheinungen desselben mit aller Genauigkeit angegeben sind, noch sehr verworrene Ideen zur Erklärung desselben vor, indem er von einer Erregung der E. in dem Harzkuchen durch blofse Erstarrung in der metallenen

1 S. *Elektrophor, doppelter.*

Form ausging, und indem er dem Harzkuchen negative E. im Franklin'schen Sinne, d. h. einen Mangel am natürlichen Antheile von E., und also ein Vermögen E. anzuziehen zuschrieb, doch zugleich eben diesem Harzkuchen ein Vermögen beilegte, das el. Fluidum der benachbarten Körper zurückzustoſsen. Glücklicher erklärte dagegen Socin[1] und Ingenhouss[2] die Erscheinungen desselben aus den Gesetzen der Vertheilung, und der letztere besonders hat seine Erklärung gänzlich dem Franklin'schen Systeme anzupassen gesucht. Dagegen gründen sich die weit vollkommeneren Erklärungen Wilke's[3] und Lichtenberg's[4] auf die Theorie zweier Materien, welche auch hier, wie von allen el. Erscheinungen eine genügendere Rechenschaft giebt, als die Franklin'sche Theorie.

Da sich die dualistische Erklärung sehr leicht nach dem, was bereits unter dem allgemeinen Artikel *Elektricität* abgehandelt worden ist, in die Franklin'sche Sprache übersetzen läſst, so wird es vollkommen hinreichend seyn, nur die erstere vollständig zu liefern, und die Abweichungen der letztern mit ein Paar Worten bemerklich zu machen. Ich gebe diese Theorie hier so, daſs daraus die Ursachen der Erscheinungen in eben der Ordnung erhellen, in welcher oben die Erscheinungen selbst abgehandelt worden sind.

1. Setzt man auf die durch Reiben negativ el. gewordene Fläche des Harzkuchens den isolirten Deckel, so wird seine 0 E. durch Anziehung des + E. von dem — E. des Harzkuchens, und Zurückstoſsung des — E. vertheilt oder zersetzt. Es verhält sich alles hierbei eben so, wie wenn ein 0 el. Leiter in den Wirkungskreis eines positiven oder negativen Conductors gebracht wird, nur mit dem Unterschiede, daſs wegen der ebenen Beschaffenheit der Fläche, und wegen der groſsen Adhäsion der E. an Nichtleiter, besonders Harze, der indifferente Leiter in unmittelbare Berührung mit dem elektrisirten Nichtleiter gebracht werden kann, ohne daſs ein Uebergang der E. statt findet, und daher eine verhältniſsmäſsig um so gröſsere Menge von

---

1 Anfangsgründe der E. Hanau 1778. 8. Achte Vorlesung.

2 Philos. Trans. Vol. 68. P. II. p. 48. übers. in den Leipziger Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte. II. Bd, 5tes St. S. 515.

3 Schwed. Abhandl. XXXIX. 54. 116. und 200.

4 6te Aufl. von Erxleben's Anfangsgründen der Naturlehre. Göttingen 1794.

0 in + und — zerlegt wird. Hebt man den Deckel aber unberührt wieder ab, so hören die Wirkungen der Vertheilung, welche vom geriebenen Harzkuchen ausgingen, wieder auf, das + und — E. des Deckels treten wieder in ihr natürliches Gleichgewicht, und der Deckel zeigt nach wie vor 0 E. Hat indeſs der Deckel scharfe Ecken oder Spitzen, so kann, während der Deckel noch auf dem Kuchen aufruht, das zurückgetriebene mit freier Spannung begabte — E., auch ohne daſs der Deckel vom Finger berührt wird, wenigstens zum Theil entweichen, oder sich mit einem verhältniſsmäſsigem Theile + E. aus der umgebenden Luft zu 0 neutralisiren, und wenn dann der Deckel aufgehoben wird, so findet sich nicht mehr das volle — E., um das während des Aufruhens des Deckels gebunden gewesene und nun wieder frei gewordene + E. vollkommen zu neutralisiren, und der Deckel kann also unter diesen Umständen freie positive E. geben.

2. Wird der Deckel auf dem Kuchen liegend berührt, so verbindet sich sein zurückgestoſsenes und frei gewordenes — E. mit eben so viel + E. des Fingers durch einen Funken. Dieses (+ —) E. ist = 0, und nachdem der Funken genommen worden ist, muſs also der Deckel wieder vollkommen indifferent seyn, da das + desselben durch das — E. des Kuchens vollkommen gebunden ist. Uebrigens gilt, was die Art der Vertheilung der beiden Elektricitäten in dem Deckel des Elektrophors in dem Augenblicke, daſs er auf dem Harzkuchen aufruht, betrifft, alles dasjenige, was über diese Vertheilung und einen gewöhnlichen Leiter unter dem allgemeinen Artikel „*Elektricität*" bereits aus einander gesetzt worden ist. Das — E. der obern Seite des Kuchens wirkt indeſs nicht bloſs auf das 0 E. des Deckels, wenn derselbe aufgesetzt wird, sondern auch auf das 0 E. der untern Seite oder der Form, und bindet im Verhältniſs der Distanz, welche von der Dicke des Harzkuchens abhängt, das + E. desselben; dadurch wird — E. an dieser untern Seite des Kuchens frei, geht aber, wenn die Basis nicht isolirt ist, in den Tisch über, oder sättigt sich mit + E. aus demselben; wird aber der Deckel aufgesetzt, so ändern sich die Umstände. Das — E. des Kuchens zieht jetzt das + E. des Deckels an, und kann daher nicht mehr soviel + E. der untern Seite binden; doch erreicht diese Wirkung auf das + E. des Deckels und die Abnahme der Wirkung auf das + E. der Form

oder das Freiwerden desselben dann ihr Maximum, wenn zugleich das — E. des Deckels, das seiner Seits auch noch gegen das vorher mit ihm zu 0 verbunden gewesene + E. eben desselben Deckels anziehende Wirkung äuſsert, und daher seine Wirkung auf das — E. des Kuchens beschränkt, von Auſsen beschäftigt oder abgeleitet wird. Daher in dem Augenblicke der Berührung des Deckels das Leuchten der vergoldeten Leisten einer Commode durch das Ausströmen des frei gewordenen + E.; berührt man ferner, statt des Deckels allein, Deckel und Form zugleich, indem man den einen Finger erst an die Form ansetzt und dann am Deckel schlieſst, so wirken gleichzeitig beide Elektricitäten in den Finger ein, da in dem Augenblicke, daſs man oben schlieſst, und das — E. des Deckels ableitet, auch das + E. an der Form sich nun erst entladet, und mit dem — E. im Finger selbst sich ausgleicht.

3. Weil bei dieser leitenden Verbindung der Form und des Deckels + E. und — E. einander sättigen, indem gerade soviel + E. verhältniſsmäſsig frei wird, als von dem + E. des Deckels das — E. des Kuchens gebunden hat, und diesen letzteren + E. auch das frei gewordene — E. des Deckels proportional seyn muſs, so zeigen nach dieser Berührung Form und Deckel weiter keine freie E. mehr.

4. Hebt man aber nunmehr den Deckel auf, und bringt ihn aus dem Wirkungskreise des Kuchens heraus, so wird sein vorher durch das — E. des Kuchens gebunden gewesenes + E. wieder frei, und giebt einem genäherten Leiter einen positiven Funken. Hat man vorher Deckel und Form zugleich berührt, so ist dieser Funken stärker, weil wegen der Anziehung des + E. der untern Seite des Kuchens durch das — E. des Deckels, das — E. des Kuchens stärker auf den Deckel wirken, mehr 0 zersetzen und mehr + E. anziehen konnte.

5. Aus dem Angeführten ergiebt sich auch ohne weiteres von selbst, daſs der nach der Berührung aufgehobene Deckel positiv seyn muſs, wenn die obere Seite des Kuchens negativ ist.

6. Dagegen muſs der Deckel vor der Berührung unter denselben Umständen negative E. zeigen.

7. Die jedesmalige Erneuerung der Wirkung bei jedesmaliger Wiederholung des Verfahrens ohne merkliche Schwächung erklärt sich daher, weil der Kuchen hierbei *nicht durch Mittheilung* sondern *bloſs durch Vertheilung* wirkt.

— 8—9. Diese dem ersten Anscheine nach zum Theil sonderbaren Erscheinungen erklären sich gleichfalls genügend, wenn man nur auf folgende schon in dem Artikel „*Elektricität*" im Allgemeinen entwickelten Sätze Rücksicht nimmt, daſs freie E. ihre vertheilende Wirkung, d. h. ihre Anziehung gegen die ihr entgegengesetzte, und ihre Zurückstoſsung gegen die ihr gleichnamige, die zusammen die el. Indifferenz bilden, nach allen Richtungen ausübt, daſs die Gröſse dieser Wirkung stets eine Function sowohl der Energie der freien E. selbst, als auch der Entfernung ist, von welcher der el. Körper auf diejenigen wirkt, welche eine solche Vertheilung zulassen, und daher zunimmt, sobald entweder die Entfernung abnimmt, oder die Quantität vergröſsert wird, und daſs endlich diese Wirkung mit einer gewissen Langsamkeit durch Schichten von Nichtleitern von einer schon merklichen Dicke sich hindurch erstreckt, dagegen durch Leiter mit einer so gut als instantanen Geschwindigkeit fortpflanzt. So findet also in dem Versuche 8 die Wirkung der negativ elektrisirten Oberfläche des Harzkuchens auf das 0 der Form eben so statt, wie auf das 0 des Deckels, welche Form in gewissem Sinne einen untern Deckel oder eine untere Belegung des Harzkuchens darstellt, von welchem der Deckel die obere Belegung ist. Aus dem 0 wird also das + E. von dem — E des Harzkuchens wegen seiner überwiegenden Menge stärker angezogen und das — E. stärker zurückgetrieben als das — sein + anzieht und von demselben zurückgehalten wird. Es muſs also freies — E. in der isolirten Form in dem Augenblicke zum Vorschein kommen, in welchem der Harzkuchen gerieben wird. Setzt man alsdann den Deckel auf, so wirkt dieser durch sein + E. welches er in seinem 0 mitbringt, gleichzeitig auf das — E. der obern Fläche des Harzkuchens; dieses + wird verhältniſsmäſsig einen Theil dieses — beschäftigen, dadurch wird die Wirkung dieses — auf das 0 der Form, oder vielmehr seine anziehende gegen das +, seine zurückstoſsende gegen das — abnehmen, ein Theil + und — wird sich wieder zu 0 verbinden, das — der Form wird schwächer werden, aber sich doch immer noch als — behaupten, zugleich wird aber auch ein Theil des 0 des Deckels zerlegt, das + E. angezogen und gebunden, das — E. zurückgetrieben werden, und als freie negative E. nach auſsen wirken, beide Belege werden also nunmehr negativ erscheinen. Berührt man aber den Deckel, so kann demselben

neue positive E. zugeführt werden, wodurch seine freie negative E. auf 0 zurückgeht, und also die positive E. des Deckels ihre vorher zwischen die negative des Deckels und die negative des Harzkuchens getheilte Wirkung ausschliefslich auf die letztere ausüben kann. Dadurch wird diese bei dem Mangel einer in Betracht kommenden Entfernung zwischen dem Deckel und Kuchen, und da im Augenblicke der Berührung des Deckels ein unerschöpflicher Quell von + für das — des Harzkuchens vorhanden war, vollkommen gebunden, auch ein Theil negativer E. der in dem Harzkuchen durch die repulsive Kraft der an der Oberfläche befindlichen etwas hineingedrängt worden war, nach aufsen gezogen, und durch das + des Deckels latent gemacht, und dadurch die Wirkung auf das + E. der Form vernichtet. Dieses verbindet sich wieder mit seinem — zu 0. Die Pendel des Elektrometers gehen demnach zusammen, und da es unvermeidlich ist, dafs während der Anstellung des Versuchs ein Theil des frei gewesenen —E. der Form, wenn auch nur durch die Luft abgeleitet wurde, so wird das frei gewordene + E. nicht vollkommen zu 0 neutralisirt werden können, weil seine verhältnifsmäfsige Menge mehr beträgt, und die Kügelchen des Elektrometers werden also mit positiver E. aus einander gehen. Wird dagegen der Deckel aufgehoben, so tritt wieder die vorige Wirkung des —E. des Harzkuchens auf das + E. der Form ein, und da auch von diesem während des Versuchs ein Theil entwichen seyn mufste, so ist es nicht mehr hinreichend das — E. des Kuchens vollkommen zu befriedigen, vielmehr zerlegt dieses noch einen Antheil von $\frac{+}{-} = 0$, welches in der Form noch zurück ist, zieht das + E. an und macht das — frei, welches also nunmehr auf das Elektrometer wirken kann.

10. Dafs bei isolirter Basis, auch nachdem man bei dem aufgesetzten Deckel den stechenden negativen Funken genommen hat, doch noch ein erschütternder empfunden wird, wenn man, während der eine Finger mit dem Deckel in Verbindung bleibt, einen andern Finger an die Form bringt, erklärt sich daraus, dafs das + E. der Form nun erst in Wechselwirkung mit — E. im Deckel treten kann, und in diesem Augenblicke das — E. des Kuchens gleichsam auf neues 0 des Deckels einwirkt, und dieses zurücktreibt, welches im Finger sich mit dem + der Form ausgleichend eben die erschütternde Empfindung verursacht.

11. Der Erfolg von dem unter dieser Nummer angegebenen Versuche erklärt sich schon hinlänglich nach dem Principe der Identität, da in demselben die Verhältnisse wieder hergestellt werden, unter welchen sich nach No. 2 keine weitere Spur von freier E. im Deckel mehr zeigte.

So verwickelt diese Theorie dem ersten Anblicke nach auch erscheinen mag, so ist sie doch höchst einfach, und erfordert nur darum viele Worte, weil so mancherlei Phänomene daraus zu erklären sind. Alles beruht auf dem einfachen Gesetze der el. Wirkungskreise, welchem gemäfs mit Abänderung der Umstände und Bedingungen die Erscheinungen sich eben so mannigfaltig modificiren müssen. Leicht läfst sich, wie schon oben bemerkt ist, diese Erklärung auch in die Sprache des Franklin'schen Systems übersetzen, wobei statt der doppelten Thätigkeit beider Elektricitäten nur die eine der positiven in Betracht zu ziehen ist, übrigens alle Bestimmungen, die sich auf den Einflufs der Entfernung, der Quantität der E. und des Unterschiedes zwischen Leitern und Nichtleitern beziehen, auf ganz gleiche Weise ihre Anwendung finden. — Treffend bemerkt Gehler[1], dafs man sich nicht leicht werde vorstellen können, wie ein Mangel, den man diesem Systeme gemäfs in dem durch Reiben negativ el. gewordenen Harzkuchen voraussetzen mufs, diejenige Thätigkeit hervorbringen könne, die gleichsam augenscheinlich von dem Harzkuchen ausgeht, von welchem man im Dunkeln beim Reiben selbst das el. Licht in Büscheln ausströmen sieht.

De Lüc hat gleichfalls die Erscheinungen des Elektrophors aus seiner oben in ihren ersten Grundzügen abgehandelten Theorie der E. zu erklären versucht[2]. Er betrachtet dieselben unter der Bedingung, dafs der Elektrophor durch seine Basis mit dem Erdboden in Verbindung sey. Durch das Reiben verliert, ihm zufolge, die obere Fläche des Harzkuchens etwas von ihrem el. Fluidum, der sogenannten el. Materie im engern Sinne, indefs die entgegengesetzte Fläche es gewinnt. Eine geriebene Harzfläche soll dieses el. Fluidum verlieren, weil der reibende Körper sich leichter des durch Reiben in Bewegung gesetzten Fluidums bemächtigt, und weil sogleich der kleine Ueberschufs,

1 Wörterb. I. 830.

2 Neue Ideen über die Meteorologie I. 255.

den er empfängt, durch die Hand dessen, der den Versuch anstellt, in den Boden strömt. Durch diesen Verlust an el. Fluidum verliert die geriebene Fläche ihr fortleitendes Fluidum, und die entgegengesetzte Fläche theilt ihr davon sogleich mit. Aber alsdann widersteht das el. Fluidum dieser letztern nicht mehr so stark, und sie erhält daher eine kleine Menge, die sich hier verdichtet, d. h. sie wird positiv. Die Grenze dieser entgegengesetzten Veränderungen findet sich in dem Widerstande der geriebenen Fläche, mehr als eine gewisse Menge fortleitendes Fluidum dem reibenden Körper abzutreten, und ihre Dauer rührt daher, dafs selbst dann, wenn das Reiben aufhört, diese Fläche nur sehr schwer das verlorene Fluidum wieder annimmt. Denn das el. Fluidum, welches sich auf der entgegengesetzten Seite angehäuft hat, theilt mit jener (der obern Seite) sein fortleitendes Fluidum, und verschafft also dem el. Fluidum, das ihr noch übrig ist, eine Vermehrung der ausdehnenden Kraft, welcher Umstand nicht nur dazu beitrug, dafs sie von solchem verlor, sondern auch hinwiederum vermittelt, dafs der leitende Körper welcher in Verbindung mit der andern Fläche (der Basis) ist, ihr nicht das el. Fluidum, was sie erlangt hat, raube. So wird also selbst die Ursache dieser entgegengesetzten Modificationen zweier Oberflächen einer nicht leitenden Platte die Ursache ihrer Dauer, obgleich diese Oberflächen in Verbindung mit leitenden Körpern sind. Man sieht also, warum die nicht leitende Schicht eines Elektrophors so dünn als möglich seyn mufs, und warum selbst, wenn sie eine gewisse Dicke hat, das Reiben ihrer offenen Oberfläche fast keine Wirkung hervorbringt. Denn da die erste kleine Wirkung, die man hervorgebracht hat, sich nicht auf der entgegengesetzten Oberfläche wegen ihres Abstandes verspüren läfst, so folgt keine andere, und sie selbst wird bald durch die Berührung leitender Körper zerstört. Es folgt daraus, dafs je dünner die nicht leitende Schicht ist, wenn sie nur stetig ist (ohne Sprünge, Risse) desto mehr erlangt und erhält der Elektrophor seine Kraft, denn die Folge davon ist, dafs die beiden Oberflächen stärker ihre entgegengesetzten Zustände erlangen und sich wechselseitig in demselben Verhältnisse helfen, sie zu erhalten.

De Lüc entwickelt ferner seine Theorie an dem Apparate einer Ladungsscheibe, deren Belege an isolirenden Füfsen befestigt sind, und von derselben abgezogen werden können, oder

an dem Wilke'schen Apparate einer entladenen Ladungsplatte. Indeſs liegt es auſser den Grenzen dieses Wörterbuches, der Erklärung DE LÜC's in dieser Hinsicht im Detail zu folgen, einer Erklärung, die sehr künstlich ausgesponnen ist, und die denselben Einwürfen unterliegt, welche man schon in dem allgemeinen Artikel „*Elektricität*" dagegen aufgestellt findet. Nur möge hier noch die Bemerkung stehen, daſs DE LÜC in seiner Theorie die wechselseitige Einwirkung der obern und untern Fläche eines Elektrophors auf einander, und die Unterstützung, die sie sich wechselseitig leisten, zu hoch anschlägt, und mit Unrecht unter die Kategorie der Ladung einer isolirenden Schicht bringt. Unstreitig fällt bei einer solchen die Ladung um so stärker aus, je dünner die Platte ist, die beide Belegungen trennt, wenn sie anders dem Durchbruche der E. von einer Seite zur andern gehörigen Widerstand leisten kann, und eine beträchtliche Dicke derselben wird gleichsam jede Ladung hindern. Beim Elektrophore wird aber unabhängig von der Gegenwirkung der untern Fläche unmittelbar durch das Reiben die E. erzeugt, und hängt hauptsächlich von der Stärke dieses Reibens und dem passendsten Verhältnisse des Reibzeuges zur geriebenen Fläche ab. Es ist im Wesentlichen derselbe Fall wie bei der Erregung der E. einer Elektrisirmaschine durch Reiben, wo sogar die beiden einander entgegengesetzten Flächen des idioelektrisehen Körpers (z. B. der Glasscheibe) auf gleiche Weise gerieben und in ihrem el. Zustande gleichmäſsig modificirt werden, indem sich hier der Gegensatz lediglich auf das Reibzeug bezieht. Auch spricht die Erfahrung unmittelbar gegen einen so auffallenden Einfluſs der Dicke des Harzkuchens auf seine Wirksamkeit als Elektrophor, wie er aus DE LÜC's Theorie hervorgeht. Ich habe einen Harzkuchen von der Dicke von einer Linie bis zu der von anderthalb Zollen gieſsen lassen, und keinen sehr merklichen Unterschied in ihrer Wirksamkeit beobachten können, wenn nur ihre Durchmesser dieselben, ihre Oberflächen gleichmäſsig eben waren und derselbe Deckel angewandt wurde. Ein sehr dünner Harzkuchen, der besonders gut im Gusse ausgefallen war, leistete fast dieselbe Wirkung, ob er auf einer Stanniolplatte, die selbst auf dem Tische sich befand, oder auf einem andern dicken Harzkuchen unmittelbar aufruhte. Daſs übrigens die durch das Reiben zu erregende negative E. auf einen höheren Grad getrieben werden kann, wenn ein Theil derselben

bei ihrer Erregung sogleich wieder durch die Gegenwirkung der untern Fläche gebunden und latent wird, und daſs damit die Wirksamkeit des Elektrophors etwas gesteigert werden kann, wenn man dann diesen gebunden gewesenen Theil dadurch wieder in Thätigkeit setzt, daſs man zwischen der Basis und dem Deckel eine leitende Verbindung macht, soll nicht geleugnet werden, und ergiebt sich hinlänglich aus dem früher Gesagten.

Was nun noch die Erklärung der merkwürdigen Thatsachen betrifft, daſs eine Ladungsplatte mit von derselben abtrennbaren Belegen nach vorangegangener Ladung durch die Entladung ohne weiteres einen Elektrophor in voller Wirksamkeit darstellt, und selbst von gröſserer Wirksamkeit, als wenn man die Glasplatte nach Art eines Harzkuchens behandelt, so ergiebt sich dieselbe leicht daraus, daſs bei jeder Ladungsflasche oder Ladungsplatte nach der ersten Entladung stets ein Rückstand von Ladung sich erhält, der sich nur allmälig durch die Belege verliert. Dieser Rückstand von Ladung hängt vorzüglich von einem Antheile von E. ab, der bei zunehmender Ladung gleichsam in das Innere des Glases hineingedrängt worden ist. Da die Belege, insbesondere diejenigen, die von der Glasfläche trennbar sind, kein eigentliches Continuum mit dieser bilden, so ist theils die dünne Luftschicht zwischen beiden, theils auch die ebene Oberfläche mit welcher die Belege und das Glas einander gegenüberstehen, und wohl auch die Adhäsion der E. an die Isolatoren ein hinlängliches Hinderniſs für den Uebergang dieses Rückstandes an die Belege, welcher dann nur durch Vertheilung wirkt. Es versteht sich von selbst, daſs diejenige Seite des Glases, an welcher die positive Ladung statt fand, sich positiv verhalten, und also in dem ihr zugehörigen Belege, welches gleichsam den Deckel eines Elektrophors vorstellt, gerade die entgegengesetzten Erscheinungen, wie der negative Harzkuchen hervorbringen wird, während die abgekehrte negative Seite umgekehrt alle Erscheinungen eines gewöhnlichen Elektrophors zeigen muſs.

Nach den bisherigen Erörterungen wird es ganz überflüssig seyn, mehrere Verhandlungen und Streitigkeiten, das Wesen des Elektrophors betreffend, die in den achtziger Jahren vorzüglich zwischen einigen französischen Physikern statt gefunden haben, näher zu erwähnen. Ich meine insbesondere die Streitigkeiten zwischen Aubert, Professor der Physik zu Autun, und

dem Abbé Empain[1]. Ersterer bekämpfte nämlich vorzüglich die Ingenhoufsische Erklärung der Erscheinungen des Elektrophors nach den Principien des Franklin'schen Systems, und insbesondere die Zurückführung dieser Erscheinungen auf die Theorie der Leidner Flasche, deren Bestimmungen und Verhältnisse Ingenhouss im Elektrophor durchgängig nachzuweisen suchte, dagegen suchte der Abbé Empain diese Theorie gegen Aubert's Einwürfe zu rechtfertigen, und theilte bei dieser Gelegenheit einen Abrifs der Theorie Winkler's mit, die im Wesentlichen mit der Ingenhoufsischen übereinstimmt. Darin hatte allerdings Aubert in gewisser Hinsicht Recht, dafs man den Elektrophor und eine Leidner Flasche in ihrem Verhalten nicht als ganz übereinstimmend betrachten könne. Als wesentliche Verschiedenheit führt er namentlich an, dafs eine durchbohrte oder zersprungene Glastafel nicht geladen, wohl aber als Elektrophor gebraucht werden könne, dafs man ferner ein allzudickes Glas nicht laden, wohl aber durch Reiben mit Metall die Erscheinungen des Elektrophors daran hervorbringen könne. Gehler sucht zwar diese Einwendungen durch die Bemerkung zu beseitigen, dafs es bekannt sey, dafs die Scheiben sowohl durch Löcher und Sprünge, als auch durch allzu grofse Dicke zu Elektrophoren eben sowohl als zur Ladung untauglich werden, indefs bleibt der Unterschied doch immer noch auffallend genug, dafs ein Harzkuchen und auch eine Glasscheibe mehrere durch die ganze Masse hindurchgehende Sprünge haben kann, ohne dafs ihre elektrophorische Wirksamkeit dadurch aufgehoben wird, während selbst auch nur der feinste Sprung, das kleinste Loch, eine Glasscheibe zur Ladung gänzlich unfähig macht, und dafs die Dicke einer Scheibe in einem viel stärkeren Verhältnisse ihre Ladungsfähigkeit vermindert, als die Dicke des Harzkuchens seine Brauchbarkeit zum Elektrophore. Das Wahre in der Sache liegt aber darin, dafs ein Elektrophor eigentlich nur mit einer nach vorhergegangener Ladung entladenen, aber nicht mit einer in wirklicher Ladung begriffenen Ladungsscheibe vergleichbar ist, dafs der bei weitem gröfste Theil der E., welche an den Flächen einer geladenen Scheibe sich befindet, durch Berührung der Belege derselben entzogen werden kann, und also hierbei eine *Mittheilung* statt findet, während

1 Esprit des Journaux. Fevr. 1788 und daraus im Gothaischen Magazin u. s. w. V. Bd. 3s St. S. 96 ff.

die am Elektrophore durch Reiben erregte E. an seiner Fläche haftet, und nur durch *Vertheilung*, nicht durch *Mittheilung* wirkt. Auch NICHOLSON[1] hat meiner Meinung nach bei der Vergleichung des Elektrophors mit der Leidner Flasche und seines Zustandes mit demjenigen der Ladung diesen Gesichtspunct nicht fest genug im Auge behalten. Er bemerkt zwar sehr richtig, dafs, wenn man den Harzkuchen eines nicht isolirten Elektrophors mit metallischer Form reibt, an demselben, wie bei jeder geladenen Flasche[2] eine doppelte E. zu unterscheiden ist, nämlich erstens die *Ladung*, oder die vermittelst der compensirenden Kraft der unisolirten unteren Belegung gebundene, und zweitens die zum Erhalten der Ladung erforderliche Portion einfacher E., welche richtiger die mit freier Spannung begabte genannt werden sollte. Indefs ist diese statt findende Ladung beim Elektrophor nur eine nothwendige Folge aber keine Bedingung seiner Wirksamkeit, da alle Erscheinungen auch eintreten, wenn bei Anwendung eines dicken Harzkuchens, ohne eine metallene Form, der überdies noch auf einem Rahmen von seidenen Fäden in grofser Entfernung von dem Tische aufruht, keine solche Ladung eintreten kann. „Wird" so fährt NICHOLSON fort, „die Metallplatte auf den Harzkuchen gesetzt, und mit dem Finger berührt, so geht wahrscheinlich in den wenigen Stellen der wirklichen Berührung ein Theil der E. in die Metallplatte über, und ist die Intensität stark, so springt auch vielleicht ein anderer Theil derselben durch die dünne Luftschicht hindurch, die zwischen dem Metalle und der Oberfläche des Harzkuchens verbreitet ist." Bei der im Ganzen so gleichförmig bleibenden Wirkung eines einmal geriebenen Elektrophors mehrere Stunden hindurch kann ich indefs einen solchen Uebergang nicht zugeben, weil sonst die E. an der Oberfläche des Kuchens allmälig abnehmen, und also auch die von der Vertheilung abhängigen Wirkungen sich verringern müfsten. Die Wirkungsart der an der Fläche noch zurück bleibenden E. auf den Deckel erklärt NICHOLSON auf dieselbe Weise, wie dieses oben geschehen ist. In der weitern Erläuterung der Phänomene findet NICHOLSON einen wesentlichen Unterschied zwischen dem negativen Funken, welchen man aus dem auf dem Harzkuchen aufruhenden, und dem positiven Funken,

1 S. Gilb. Ann. XXIII. 282.

2 S. *Flasche, elektrische.*

welchen man aus dem aufgehobenen Deckel zieht, darin, dafs jener die nach und nach erfolgende Explosion einer Ladung und daher auch viel kleiner, dieser das plötzliche Entweichen eines Antheils einfacher freier E. ist, und daher auch in gröfserer Entfernung überschlägt und auch mehr Geschwindigkeit (?) und Glanz hat, ob er gleich aus weniger E. besteht. Darin hat Nicholson allerdings Recht, dafs in dem Falle, wo das Elektrophor mit seiner Basis auf unvollkommenen Leitern, wie gewöhnlich auf einem Tische, ruht, der negative Funke aus mehreren kleinen Funken besteht, und insofern mit einer allmäligen Explosion einer schwachen Ladung verglichen werden kann, sofern die Ladung des Deckels mit positiver E. oder die Ableitung der negativen nur in dem Mafse geschieht, in welchem die Form ihre vorher gelindere positive E. an den Tisch und durch diesen in den Erdboden abgeben kann, was wegen der unvollkommenen Leitung nur successive geschieht; dafs aber das + weniger betragen sollte, als das abgeleitete —, enthält einen Widerspruch in sich selbst, da ja beide aus demselben 0 hervorgegangen sind, und folglich eben soviel + zurück bleiben mufs, als — abgeleitet worden ist. Uebrigens verdient noch bemerkt zu werden, dafs bei der Verbindung der Form mit dem Deckel durch den Finger der Funken stets nur ein einfacher erschütternder ist, weil in diesem Falle ein guter Leiter beide Elektricitäten zusammenbringt.

Lichtenberg'sche Figuren.

Die merkwürdigen Figuren, durch Aufstreuen von feinen Pulvern, besonders von Harzstaub, hervorgebracht, welche die Spuren der positiven und negativen E. auf eine für jede eigenthümliche Weise auf den Flächen der Nichtleiter, besonders auf glatten, harzigen Oberflächen bezeichnen, werden am passendsten hier abgehandelt, da ihre Entdeckung von dem Elektrophore ausgegangen ist. Lichtenberg in Göttingen, von welchem sie auch ihren Namen erhalten haben, wurde durch einen glücklichen Zufall mit ihnen im Jahre 1777 bekannt[1]. Er bemerkte nämlich, dafs das feine Harzpulver, welches sich beim

---

1 Vgl. G. Chr. Lichtenberg de nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi. In novi Comment. Soc. reg. Goetting. ad annum 1777, Gött. 1777. T. VIII. p. 168.

Zurechtmachen und Abreiben seines großen Elektrophors in die Höhe verbreitet, und an die Wände und Bücher allenthalben angesetzt hatte, und durch die Bewegung der Luft öfters zu seinem großen Verdrusse sich wieder auf den Deckel des Elektrophors gleichförmig abgesetzt, nachher als der Deckel in die Höhe gezogen worden, auf dem Harzkuchen selbst sich nicht eben so gleichförmig verbreitet, sondern an gewissen Stellen zu Sternen zusammengehäuft hatte, die zwar erst nur schwach und blaß, durch absichtliches Bepudern aber schöner hervortraten. Bisweilen erschienen fast unzählige Sterne, wie Milchstraßen, und größere Sonnen, Bogen, welche von der convexen Seite mit Strahlen versehen waren, die niedlichsten Verzweigungen, denen ähnlich, welche die gefrornen Fensterscheiben zeigen, wobei er zugleich beobachtete, daß sie weit entfernt durch Abwischen mit einer Feder oder einem Hasenfuße vertilgt zu werden, nur gleichsam noch schöner durch neu auffallenden Staub wurden. Es zeigte sich bald, daß da, wo jene schönen Sterne in Menge sich zeigten, eine positive Ausströmung von dem aufgehobenen Deckel nach dem Elektrophore statt gefunden hatte, welche im Dunkeln in sehr sichtbaren Feuerbüscheln sich zu erkennen gab, und wodurch der Harzkuchen an dieser Stelle positiv el. geworden war, wie auch ein kleinerer Deckel zeigte, der auf diese Stelle aufgesetzt, berührt und wieder aufgehoben sich negativ verhielt. Diese vorläufigen Beobachtungen veranlaßten eine Reihe von Versuchen, um dieser merkwürdigen Eigenschaft der E. weiter nachzuspüren, welche LICHTENBERG sowohl in dieser als in einer zweiten Abhandlung[1] genauer beschrieben, und deren Resultate er durch mehrere Abbildungen erläutert hat.

Man bedient sich zu Anstellung dieser Versuche am besten kleiner, dünner, aus Gummilack, Harz oder Schwefel geschmolzener Tafeln, oder auch kleiner Glastafeln, die auf einer oder beiden Flächen mit einer dünnen Harzschicht überzogen sind, oder auch kleiner eben so überzogener Blechtafeln. Auf diese setzt man einen Metallring, der von verschiedenem Durchmesser seyn darf, je nachdem man die Figuren größer oder kleiner darstellen will, und der sich in eine Kugel oder Spitze endigen kann. Setzt man ein solches mit einer Kugel versehenes Me-

---

1 Commentat. poster. etc. in Comment. Soc. reg. Goett. ad ann. 1778. Goett. 1779.

tallrohr auf eine der beschriebenen Tafeln von Harz oder Gummilack und theilt demselben aus einem positiv el. Conductor oder noch besser aus einer positiv geladenen Leidner Flasche einen Funken mit, nimmt dann den Metallring mit der Hand weg, und bepudert die Tafel mit Harzstaub, so wird eine mit den schönsten sich verzweigenden Strahlen umgebene Sonne erscheinen. Entfernt man den Metallring statt mit der Hand mit einem idioelektrischen Körper, so fehlt der schwarze Ring, von welchem die Strahlen ausgehen. Giebt man dem Metallringe einen negativen Funken und nimmt ihn gleichfalls mit der Hand weg, so erscheint eine ganz andere strahlenlose, von concentrischen Kreisen eingeschlossene, Figur. Setzt man eine solche Gummilacktafel mit ihrer untern Fläche auf einen kurzen Metallring, ihm gegenüber auf die obere Fläche einen anderen, und giebt letzterem einen positiven Funken, so zeigt sich nach dem Bepudern auf der obern Fläche eine positive, mit Strahlen umgebene, auf der unteren aber eine der negativen verwandte Figur. Stellt man eine Leidner Flasche auf einen Harzkuchen, und ladet ihre innere Seite positiv, so wird ihr Umfang auf dem Harzkuchen mit Harzstaub bepudert einen schönen mit Strahlen eingefafsten Kreis oder eine positive Figur darstellen; ladet man dagegen die Flasche negativ, so wird der Umfang mehr mit runden Figuren, Kreisen und Ellipsen umgeben seyn. Macht man mit dem Knopfe einer positiv geladenen Flasche, die man in der Hand hält, auf der Fläche eines Harzkuchens Züge wie von Buchstaben, und bepudert dieselben mit Harzstaub, selbst nach einigen Tagen, so werden diese Buchstaben in schönen positiven Figuren sichtbar werden, indem von den gezogenen Strichen seitwärts die niedlichsten Strahlen, die sich in feine Zweige ausbreiten, ausgehen, welche Lichtenberg mit blumenähnlichen Figuren vergleicht. Hat man dieselben Züge mit dem Knopfe einer negativ geladenen Flasche gemacht, so werden diese Buchstaben durch Perlen oder Paternosterschnüre bezeichnet. Ueberall charakterisirt sich die negative E. und ist erkennbar an ihren abgerundeten, theils kreis- oder mondförmigen, theils elliptischen Figuren, ohne eine auffallende Seitenausstrahlung, während die positive E. überall in die niedlichsten Verzweigungen, die in feinere und feinere Aeste sich vertheilen, ausstrahlt, und gleichsam Sonnen (nach der gewöhnlichen Art, sie zu zeichen) und Sterne darstellt. Lichtenberg bemerkt, dafs jedesmal, wenn neue Ver-

Fig. 160.

Fig. 161.

suche angestellt werden sollen, die Harzscheiben aufs sorgfältigste abgewischt werden müssen, damit nicht, weil die Figuren sich nur schwer zerstören lassen, beim Gebrauche derselben Tafel *einer* Ursache zugeschrieben werde, was die Wirkung mehrerer ist. Auch müssen die dabei gebrauchten Pulver recht fein seyn, und durch recht feine Leinwand durchgebeutelt werden. Man kann sehr verschiedene Pulver dazu gebrauchen. LICHTENBERG bediente sich ausser verschiedenen Harzpulvern des Schwefels und Bärlappsaamens, auch der Pulver von Zucker, weissem Vitriol, Braunschweiger Grün, Smirgel, Stärkemehl, gemeinem Mehl, des feinsten Messingfeilicht und Eisenfeilicht, doch giebt das feine Harzpulver stets die schösten Figuren. Stellt man diese Versuche in der Guericke'schen Leere an, so breiten sich die Figuren sehr aus, die Strahlen erhalten eine 3 — bis 4mal so grosse Länge, haben auch eine grössere Breite und in der Mitte gleichsam eine feine Rippe, welche frei von Harzstaub ist, während die concentrischen Ringe nur eine einzige breitere kreisförmige Umgebung bilden, welche durch einen schmalen, von Staub freien, Ring von einem mittleren bestäubten kreisförmigen Flecke getrennt ist. Dass diese Figuren von der Anziehung und Abstossung der den Scheiben mitgetheilten und an den bestreuten Stellen haftenden E. gegen die Theilchen der durchgesiebten Pulver abhängen, ist keinem Zweifel unterworfen. Die gleichartig elektrisirten Theilchen der Pulver werden begreiflich von den ihnen gleichartig elektrisirten Stellen des Harzkuchens, abgestossen, und von den ungleichartig elektrischen angezogen, und die Gestalt der Figuren wird also theils davon abhängen, nach welchem Gesetze das el. Fluidum auf solchen idioelektrischen Flächen, wie Harzkuchen, Glasplatten u. s. w. seinen Weg nimmt und sich verbreitet, theils auch davon, welche Art von E. die durchgesiebten Pulver selbst annehmen. LICHTENBERG hat zwar diesen letztern Umstand als untergeordnet darzustellen gesucht, indem ja auch metallische Pulver, von denen er voraussetzt, dass sie beim Durchsieben keine E. erhalten, diese Figuren auf gleiche Weise, wenn auch nicht in derselben Schönheit, wie die Harzpulver, darstellen. Indessen wissen wir jetzt sehr wohl, dass auch Metallpulver so wie alle Körper, beim Reiben an andere el. werden, und da die Metallpulver nach dem Durchsieben bloss mit der Luft in Berührung gekommen sind, so werden sie die beim Durchgange durch die Lein-

Fig. 162 u. 163.

wand erregte E. beibehalten, ja wenn sie selbst nicht durch Leinwand durchgeschüttelt würden, so könnten sie doch schon beim Durchgange durch die Luft durch Reibung an dieser schwach el. werden. Welchen Einfluſs die durch das Reiben beim Durchgange durch die Leinwand erregte E. der Pulver auf das Gelingen der Versuche habe, beweiset der Versuch de Lüc's, daſs bei einer lockern Leinwand, die weniger rieb, ganz unregelmäſsige, hingegen bei einer feinen Leinwand, wo man stark schütteln muſste, sehr schöne und bestimmte Figuren entstanden. Lichtenberg selbst theilt einen interessanten Versuch mit, der den Einfluſs der eigenthümlichen E. der Theilchen des Pulvers auf ihre Auflagerung beweist. Wenn man eine Leidner Flasche auf einen Harzkuchen stellt, der mit einer dünnen Schale eines feinen Harzpulvers, oder eines andern beliebigen Pulvers, das zu diesen Versuchen dienen kann, bedeckt ist, und die Flasche positiv ladet, so wird das aus der äuſseren Belegung ausgetriebene + E. indem es auf den Harzkuchen übergeht, einen Theil des Harzpulvers positiv machen, welcher, da er dann einerlei E. mit dem gleichfalls positiv gewordenen Kuchen hat, nach der negativ el. äuſsern Belegung zurückgetrieben werden wird, die niedlichsten Verzweigungen, ihres Harzpulvers beraubt, auf dem Harzkuchen zurücklassend, wo demnach die leeren Stellen den Weg des + E. durch ihre Strahlenausbreitung bezeichnen, wie sonst die beim Durchstäuben durch Leinwand negativ werdenden Theilchen des Harzstaubes, die sonst von eben diesen Stellen angezogen werden. Bestreuet man hierauf denselben Harzkuchen, auf welchem die Flasche sich befindet, mit Schwefelpulver, das mit Zinnober gefärbt ist, so werden die zuerst von ihren Harzpulvern beraubt gewordenen Verzweigungen das rothe Pigment an sich ziehen, und nicht mehr nach der äuſsern Belegung zurücktreiben. Offenbar liegt der Grund darin, daſs der Zinnober beim Durchstäuben mit Schwefel negativ el. geworden ist, und also von den positiv el. leeren Stellen, die die Flasche umgeben, angezogen wird. Der Mechanicus Bienvenu[1] hat diesen Versuch etwas abgeändert als neu beschrieben. Er beschrieb nämlich mit dem Haken einer Leidner Flasche die erst positiv, und dann negativ geladen wurde, auf dem Kuchen eines Elektrophors nach Willkür Züge,

1 Journ. de France 1788. No. 9.

und bepuderte sie dann mit einem Gemenge von Mennige und Schwefelblumen. Die positiven Züge nehmen blofs die Schwefelblumen an, welche die bekannten Strahlen und Ramificationen bilden, die negativen stellen sich durch die Mennige als rothe Paternosterknöpfchen dar.

Cavallo, der auf den Einfluſs der eigenthümlichen E., welche das Pulver beim Schütteln auf die Platte erhält, zuerst aufmerksam gemacht zu haben scheint [1], hat zugleich auch durch eine Reihe von Versuchen die E. ausgemittelt, welche verschiedene Pulver, je nachdem sie von diesem oder jenem Gefäſse ausgeschüttet werden, annehmen. Harzstaub fand er stets negativ, wenn man ihn von Papier, Glas oder einem metallenen Löffel herabfallen lieſs; Schwefelblumen eben so nur im geringeren Grade; gestoſsenes Glas, von trockenem und warmem Papier herabfallend, negativ doch im geringeren Grade als Harzstaub, von einem metallenen Gefäſse dagegen positiv; Eisenfeilicht aus einer gläsernen Flasche oder von Papier geschüttet negativ; Messingfeilicht bei gleicher Behandlung positiv; Amalgam von Stanniol und Quecksilber negativ; Schieſspulver oder sehr feinen Bimsstein aus einer gläsernen Flasche geschüttet negativ; Quecksilber aus einer gläsernen Flasche positiv; Glanzruſs aus einem Schornsteine oder die Asche von den gemeinen Steinkohlen, vermischt mit kleinen halb verbrannten Kohlen, von einem Stück Papier geschüttet, negativ. Cavallo stellte diesen Einfluſs der eigenthümlichen E. der Pulver auf ihre Anlagerung durch einen Versuch mit einem Gemenge von pulverisirtem Drachenblut und arabischem Gummi dar, womit er eine Glastafel bepuderte, deren Oberfläche er mit dem Knopfe einer mäſsig positiv geladenen Flasche überfahren hatte. Beide Pulver trennen sich in diesem Falle auf der Glastafel; das rothe Pulver des Drachenblutes wird auf gewisse Stellen, und das weiſsliche des arabischen Gummis auf andere fallen, beide zusammen bilden eine längliche strahlige Figur, die aus verschiedenen Farben besteht, welche in der gröſsten Mannigfaltigkeit mit einander abwechseln. Wenn man statt mit Glas, mit vorher durch Erwärmung recht gut ausgetrocknetem Papiere verfährt, und nach dem Bepudern mit dem Gemenge das Papier an das Feuer hält, so schmelzt das Drachenblut und bleibt an dem Pa-

1 Vergl. dessen vollständige Abhandlung u. s. w. 4te Ausg. II. 6.

pier hängen, man kann dann das Pulver des arabischen Gummis mit dem Schnupftuche wegwischen, und hat nun die durch das Drachenblut gebildete Figur auf dem Papiere rein und fixirt. Um diese Figuren zu fixiren, kann man auch nach Lichtenberg's Vorgange ein mit einer klebrigen Materie überstrichenes schwarzes Papier an die Figuren gelinde andrücken, und dann abziehen, wo dann der Harzstaub in seiner eigenthümlichen Anordnung an dem Papiere hängen bleiben wird. Nach Bennet ist es sogar hinreichend, das Papier, womit man solche Abdrücke von Figuren sich verschaffen will, nur gehörig im Wasser einzuweichen, zwischen den Blättern eines Buchs die überflüssige Feuchtigkeit auszudrücken, und auf die glatte Scheibe von Harz, auf welcher sich die Figur befindet, gelinde anzudrücken, wo dann der Harzstaub an dem Papiere hängen bleiben wird. Da in diesem Falle der nach aufsen befindliche Harzstaub nur lose anhängt, so kann man das Papier dann noch mit der bedeckten Seite auf ein Gefäfs mit Wasser legen, wo das überflüssige Pulver in dem Gefäfse mit Wasser zu Boden sinken wird, und die Figuren sich nachher auf dem Papiere nicht so leicht verwischen lassen.

Diese Figuren zogen ganz besonders de Lüc's Aufmerksamkeit auf sich, der in ihnen eine Bestätigung seiner el. Theorie und der eigenthümlichen Rolle, welche diese Theorie den beiden Elementen des el. Fluidums, dem fortleitenden Fluidum und der el. Materie anweiset, zu erkennen glaubte[1]. Er bediente sich zu seinen Versuchen darüber sehr dünner Glasplatten, mit schwarzem Siegellack überzogen, das er darauf siebte und schmelzte. Einige waren mit dem Lack auf beiden Seiten, andere nur auf einer, bedeckt; auf einigen liefs er zwischen dem Lack leere Stellen, um auch mit dem Glase selbst Versuche zu machen. Man kann solche Platten sehr lange gebrauchen, und darf nur das Siegellack am Feuer erweichen, um die vorigen Figuren ganz wegzubringen. Diese Platten liefs er auf zwei überfirnifsten Glasarmen ruhen, die auf einem isolirenden Fufse standen. Daran befindet sich ein gläserner Arm, an dessen Ende man einen Leiter, z. B. eine metallene Kugel, Platte, Röhre u. dergl. anbringen, und über jede Stelle der Glasscheibe schie-

1 Seine zahlreichen Reihe von Versuchen beschreibt derselbe in seinen neuen Ideen über die Meteorologie. I. S. 390. u. ff.

ben kann. Ein anderer isolirender Fuſs trägt am Ende eines andern gläsernen Armes einen ähnlichen Leiter, den man von unten an jede Stelle der untern Seite der Scheibe bringen kann, so daſs beide Leiter einander gegenüber stehen. Ein dritter metallner oder sonst leitender Fuſs trägt einen beweglichen Arm, wodurch der Leiter an der untern Seite mit dem Boden verbunden werden kann. Die Leiter können mancherlei Gestalten haben, nur müssen sie wenigstens 1¼ Zoll hoch seyn, damit der Knopf der Flasche, womit man sie elektrisirt, der Platte nicht zu nahe komme. Mit ihrer Basis müssen sie auf der Platte ruhen. Die schönsten Figuren erhält man durch positives Elektrisiren, wenn der Leiter eine Röhre von 1 Zoll Durchmesser zur Basis hat.

Mit diesen Platten hat de Lüc die Versuche auf mancherlei Art abgeändert, z. B. dem obern Leiter einen Funken gegeben, und ihn hernach entweder mit der Hand weggenommen, oder durch den isolirenden Arm weggeschoben; oder vor dem Wegnehmen erst die Verbindung des untern Leiters mit dem Boden aufgehoben; oder diese Verbindung schon vor dem Funkengeben aufgehoben; oder den untern Leiter ganz weggelassen. Jede Abänderung im Verfahren giebt den Figuren ein anderes charakteristisches Kennzeichen, und wenn man dabei Leiter von fünferlei verschiedenen Gestalten gebraucht, so erhält man 80 Varietäten von Figuren, wobei sich das Zufällige besser unterscheiden läſst, wenn man gröſsere Platten, etwa von 6 Zoll ins Gevierte, wählt, und jede Operation an verschiedenen Stellen wiederholt. Man kann noch zwei Abänderungen durch das Bepudern machen, indem man gleich nach dem Funkengeben, noch vor Wegnehmung des Leiters, oder indem man noch vor dem Funkengaben bepudert. De Lüc ist noch bei weitem nicht in alle Einzelnheiten dieser Fälle eingedrungen; nur der allgemeine Gang ist es, was er durch anhaltende Bemühungen zu fassen vermocht hat.

Die beiden Seiten der Platte sind hier einander so nahe, daſs sie stets beide gemeinschaftlich auf den Staub wirken; daher seine Lage durch beide bestimmt wird. Er setzt sich also am häufigsten nicht eben auf die Theile, welche das meiste + E. besitzen, sondern auf die, wo die Anhäufung am wenigsten durch das — E. der entgegengesetzten Seite gehindert wird. Die Stellen, welche der Leiter wirklich berührt, und die dem beleg-

ten Theile der Kleist'schen Platte ähnlich sind, nehmen hier nur einen kleinen Raum ein, in dem sich wenig unterscheiden läfst: doch bemerkte DE LÜC darin kleine Sterne bei + E., kleine Flecken, wie Perlen, bei — E. Eben dieses fand er auch an den belegten Theilen einer geladenen Platte von schwarzem Lack, aber um die Belegungen herum hatten sich Figuren gebildet, die denen auf den Glasplatten ähnlich waren, und denselben Gesezzen folgten.

Der erste allgemeine Charakter bei diesen Figuren besteht in *negativen Streifen*, welche mit positiven eingefafst sind, und den Umrissen der Stelle folgen, welche der leitende Körper auf der Platte eingenommen hat. Wenn man blofs den Knopf einer Flasche gegen die Platte hält, und sie, nachdem er zurückgezogen ist, bepudert, so hat man einen schwärzlichen, folglich negativen, Fleck, der mit einem positiven Gewölk umfafst ist. Setzt man aber die beiden Leiter auf die Platte, und nähert dem obern den Knopf, ohne jedoch einen Funken zu geben, so findet man den schwarzen Grund schon durchschnitten.

Hiervon läfst sich nun nach DE LÜC's Systeme folgende Erklärung geben. Bei Annäherung des Knopfes an den Leiter erhält das el. Fluidum des letzteren mehr ausdehnende Kraft, verbreitet sich in Strahlen über die Platte, und bildet eine kleine positive Einfassung um des Leiters Basis. Dadurch vermehrt es den negativen Zustand der Platte um sich her, und bildet eine erste Zone, die mehr negativ als der Grund ist; um diese herum häuft sich wieder ein Theil der el. Materie an, die auf der Platte fortgeschlüpft ist, und bildet eine zweite positive Einfassung u. s. w. Auf der andern Seite der Platte bilden sich ähnliche Einfassungen in ungekehrter Ordnung. In dem Mafse, wie sich der Knopf mehr nähert, entstehen neue Durchschnitte auf dem ersten negativen Grunde; der darauf ausfahrende Funken veranlafst wiederum neue Schnitte, und endlich bringen auch die verschiedenen Arten, die Leiter wegzunehmen, eine neue Ordnung von Schnitten mit ausgezeichneten Charaktern hervor.

Die *negativen* Figuren rühren meistens nur von dem Fortrücken der eigenen el. Materie der Platte her, welches in concentrischen Zonen geschieht; die *positiven* hingegen tragen das Gepräge von neuem auf die Platte gekommenen Fluidum an sich, und stellen ausschiefsende Strahlen dar, welche diesen Figuren ihre so vorzügliche Schönheit geben.

Aus dem Leiter fahren auch Strahlen in einiger Höhe, die die Platte erst in der Entfernung erreichen. Wo diese die Einfassung streifen, ohne sie zu berühren, da machen sie auf derselben schwarze Striche, weil ihr fortleitendes Fluidum die unter ihnen befindliche el. Materie verrückt; wo sie aber die Einfassung berühren, da machen sie dieselben dichter. Jenseit der Einfassung geschieht der stärkste Niederfall dieser Strahlen, und sie zertheilen sich hier auf die schönste Weise in Gruppen und Aeste. Alle weiſse Züge sind mit Schwarz eingefaſst, und alle schwarze Züge mit schwachem Weiſs; dieses zeigt, daſs die elektrische Materie auf dem ursprünglich negativen Grunde aufs neue verrückt worden sey. Der Regen auf die obere Seite verursacht nun auch eine neue Vertheilung auf der untern, woraus schwarze Felder entstehen, mit weiſsem Gewölk eingefaſst, welches von der positiven Einwirkung der obern Strahlenmassen durch die Platte hindurch herrührt. Sind die Leiter kreisförmige oder parallelseitige Platten, so werden die Strahlen, welche aus einer Seite in die andere gehen, auf ihrem Wege gekrümmt, zertheilt und an ihren Enden verdickt, woraus blättrige Ramificationen entstehen.

Wenn man nach den Funken den obern Leiter mit dem Glasarme wegschiebt, so werden die Figuren fast gar nicht verändert; berührt man aber den Leiter, ehe man ihn wegnimmt, so entstehen auf $\frac{1}{2}$ Zoll weit von beiden Leitern besondere Veränderungen. Man entladet dadurch, wenn der untere Leiter mit dem Boden in Verbindung ist, die Theile der Platte, welche die Leiter berühren. Oben geht das el. Fluidum aus diesem Theile der Platte in den berührten Leiter: unten geht es aus dem Boden in den andern Leiter. Dadurch bilden sich zwei verschiedene Gattungen von figurirten Borten in der Mitte zwischen den Figuren um die Stellen der Leiter. Es ist dieses ein weiſses Laubwerk auf schwarzem, oder auch ein schwarzes auf weiſsem Grunde, und was noch sonderbarer ist, oft haben verschiedene Theile derselben Zone beide Charaktere.

Eben diese Figuren findet man auch bei der Kleist'schen Platte, und zwar um die Belegungen herum, sowohl auf der positiven als negativen Seite, und wenn man die Belegungen abnimmt, so zeigen sich auch die Durchschnitte nach eben denselben Gesetzen. Freiwillige Entladungen lassen weiſse Strahlen zurück, die so gerade und enge, als die Zähne des feinsten Kam-

mes, zu beiden Seiten des Weges, den der Funken nahm, unter rechten Winkeln ausfahren, und ein grofses negatives Feld, das durch den Wirkungskreis des Stromes entstanden ist, durchschneiden.

Hierdurch sucht DE LÜC einige Hauptsätze seiner Theorie sichtbar zu beweisen. Dafs die Nichtleiter die el. Materie stark an sich halten: denn eben daher entstehen die Figuren und ihre Dauer; dafs diese Materie nur in der Nähe von den Nichtleitern angezogen wird; denn der Strom von el. Fluidum kann sehr nahe an der Platte vorbeigehen, und Unterbrechungen auf ihr machen, ohne ihr anzuhängen; dafs sich das *Fluidum deferens* gegen die Nichtleiter, wie gegen jede andere Substanz hinneige, und hier auch die el. Materie verdränge, dieses beweisen die positiven Einfassungen der negativen Theile, und alle Umstände der Bildung der Figuren; dafs die el. Bewegungen sich nur auf die el. Materie allein, nicht auf das fortleitende Fluidum, beziehen, denn der negativ gewordene Harzstaub hängt sich nur an die Stellen, wo el. Materie angehäuft ist; dafs endlich das el. Fluidum, sobald es frei ist, sich in gerader Linie bewegt, dieses beweisen die Strahlen der positiven Figuren.

Glas hält die el. Materie nicht so stark, als Siegellack. Wurden die Platten gleich nach der Operation bepudert, so waren die Figuren des Glases und Lackes wenig verschieden, säumte man aber mit dem Bepudern, so wurden sie auf dem Glase unordentlich und verworren.

Das el. Fluidum setzt sich an nicht leitende Flächen stofsweise, wie die Luft in eine umgekehrte Flasche mit Wasser dringt, und verläfst sie auch wieder auf eben die Weise. Setzt man eine nichtleitende Platte auf eine mit dem Boden verbundene leitende Fläche, streicht frei mit dem Knopfe einer geladenen Flasche darüber, und bepudert sie hernach, so sieht man statt eines simpeln Zuges eine Figur, wie einen jungen Zweig vom Lerchenbaume, eine Reihe regelmäfsiger Büsche, die vom Zuge ausgehen. Ist die Flasche negativ geladen, so sieht man eine Art von Paternoster mit weit aus einander stehenden Körnern. Je schneller man den Knopf bewegt hat, desto weiter stehen die Büsche und Körner von einander. Dieses von LICHTENBERG zuerst bemerkte Phänomen bezeichnet Absätze in dem Uebergange des Fluidums. Die Ladung mufs allemal zu einem gewissen Grade kommen, um an die Platte überzugehen, so

wie in der umgekehrten Wasserflasche die Verdünnung der Luft allemal zu einem gewissen Grade kommen muſs, ehe wieder eine Blase äuſserer Luft durch das ausflieſsende Wasser dringen kann. Diese Absätze sind auch die Ursache, welcher man das heftige Oscilliren der Elektrometer bei der Ladung von Flaschen oder Platten zuzuschreiben hat.

Auſser de Luc haben sich ferner noch die holländischen Physiker Paets van Troostwyck und Krayenhoff[1] mit diesen Versuchen beschäftigt, und in den Erscheinungen derselben einen entscheidenden Beweis für das Franklin'sche System zu finden vermeint. Sie bedienten sich runder Scheiben aus gleichen Theilen von Harz und schwarzem Siegellack, von 4—5 Zoll Durchmesser und $\frac{1}{8}$ Zoll Dicke, und bepuderten dieselben mit Bärlappsaamen. Zum Elektrisiren nahmen sie eine Leidner Flasche von 44 Quadratzoll Belegung, deren Knopf $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser hatte, bisweilen auch eine kleinere Kugel, und zu einigen Versuchen an deren Statt eine Spitze.

Wenn sie die Lackscheibe am Rande mit den Fingern berührten, mit der Mitte derselben, die auf diese Art isolirt war, den Knopf einer positiv geladenen Flasche berührten, und dann die Scheibe bepuderten, so bildete der Staub einen Stern mit Strahlen, die von dem Puncte, der die Flasche berührt hatte, ausgingen. War die Flasche negativ geladen, so bildeten sich ein, zwei oder mehrere runde Flecken. Die andere Seite der Lackscheibe zeigte bepudert keine Figur. Verbanden sie aber während des Berührens der Flasche die andere Seite der Scheibe mit einem Leiter, den sie nach dem Berühren wegnahmen, und dann beide Seiten bepuderten, so entstand auf der Seite, welche die Flasche berührt hatte, ein Stern, dessen Strahlen aber nicht aus einem Puncte, sondern aus einem gefällten Kreise ausgingen, und an der andern Seite einige runde Flecken, deren mittelster mit jenem Kreise von gleicher Gröſse war. Bei der negativen Flasche waren die Flecken auf der berührten, der Stern auf der andern Seite, mit kürzeren, dünneren, und sich durchkreuzenden Strahlen. Brachten sie an der Flasche statt des Knopfes ein rundes Metallplättchen an, und an der andern

1 Verhandeling over zeekere onderscheidene Figuren, welken dor de beede Soorten van Electricitet vorden voordgebracht im Allgem. Magazin und übersetzt in den Leipz. Samml. zur Physik und Naturges IV. Bd. 4tes St. 1790. S. 357.

Seite der Scheibe ein gleich grofses mit Leitern verbundenes Metallplättchen, und verfuhren dann wie zuvor, so fanden sie einen gefüllten Kreis mit divergirenden Strahlen, und auf der andern Seite einen gleich grofsen mit runden Flecken gefüllt, auch nicht selten um denselben einen Ring, auf der sich kein Staub ansetzte. Bei negativ geladener Flasche verwechselten sich die Figuren, und die Strahlen waren kürzer und gekrümmter. Lagen die Metallplättchen an der Scheibe nicht ganz an, so entstanden in dem gefüllten Kreise auf der positiven Seite kleine Sterne, auf der negativen kleine Flecken, wie Perlen. Alle diese Figuren liefsen sich auch durch Berührung mit einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange, oder einer isolirten Person, die Glas oder Siegellack gerieben hatte, hervorbringen, oder wenn man den Knopf einer nicht zu stark geladenen Flasche auf der Scheibe, als ob man schreiben wollte, herumführte, in welchem Falle, wie auch schon oben bemerkt ist, ein positiver Knopf Züge mit ausfahrenden Strahlen, ein negativer Reihen von perlenartigen Flecken bildete.

Dieses erklären die genannten Physiker nach Franklin's Systeme. Auf die Frage, warum der negative Knopf mehr als einen Fleck bilde, antworten sie, dieses rühre von der Gröfse der berührenden Oberfläche her; brauche man eine Spitze, so entstehe nur ein Punct, dagegen sey bei der positiven Flasche gar kein Unterschied zwischen den Wirkungen der Kugel und der Spitze zu finden. Ein Versuch scheint denselben besonders günstig für die Einheit der el. Materie und für ihre entgegengesetzte Richtung beim Negativelektrisiren zu seyn. Man hänge eine Leidner Flasche an den Conductor der Maschine, und verbinde ihre äufsere Belegung durch einen Draht mit der auf Leitern liegender Lackscheibe, so kann die Flasche in etwas geladen werden, weil die Scheibe aus den Leitern etwas E. annehmen, oder an sie abgeben kann. Nimmt man nun nach dem Laden den Draht mit einem isolirenden Handgriffe ab, und bepudert die Scheibe, so sieht man bei positiver Ladung Strahlen, bei negativer nur einen einzigen runden Fleck. Dieser und die schwächere (?) Ladung, die die Flasche in diesem Falle erhält, lassen sich der Meinung jener Physiker zufolge sehr gut im Sinne des Franklin'schen System's dadurch erklären, dafs der Lackscheibe weit mehr el. Materie gegeben als genommen werden kann, weil die Theilchen wohl genöthigt werden können, sich

aus einem Puncte über die widerstehende Fläche der Scheibe zu verbreiten, nicht aber umgekehrt, sich von allen Theilen der Scheibe her nach einem Puncte zu versammeln.

Dagegen hat Lars Ekmark[1] in einer abgeänderten Art die Lichtenberg'schen Figuren darzustellen, vielmehr einen Beweis *gegen* Franklin's Theorie und *für* den Dualismus aufzustellen gesucht.

1. Eine auf einer Seite belegte Glastafel wurde auf der unbelegten Seite mit Schwefelblumen bestreuet, eine positiv geladene Flasche von ¼ Quadratfuſs Belegung vorsichtig darauf gestellt, und darauf der Knopf der Flasche mit einem Leiter berührt. Das Pulver auf der Glastafel setzte sich von der Flasche aus in Bewegung, und legte sich rund um in Gestalt von Lappen oder Wellen mit gleichen Kanten an, die um so stärker, deutlicher und weiter ausſahrend waren, je stärker die Flasche geladen war.

2. Derselbe Versuch wurde mit einer negativ geladenen Flasche wiederholt. Nun setzte sich das Pulver gleichfalls von der äuſsern Seite der Flasche in Bewegung, und legte sich in Figuren, welche an Weite und Gestalt ungefähr den vorigen Wellen gleich kamen, statt der gleichen Kanten zeigten sich aber ausschieſsende Strahlen oder Zweige.

3. Die Glasscheibe war wie zuvor eingerichtet, die aufgesetzte Flasche positiv geladen, und der Knopf derselben wurde mit einem isolirten Auslader berührt, dessen anderer Knopf so weit auf der Tafel von der Flasche gelegt war, daſs die Entladung nicht erfolgen konnte. Das Pulver legte sich jetzt um die Flasche in Wellen, und um den Knopf des Ausladers in Strahlen, welche stark gegen einander schossen, sich aber doch nicht berührten. Die Figuren erlitten hierbei je nachdem die Flasche stärker oder schwächer geladen war, einige Veränderungen. Bediente man sich eines nicht isolirten Ausladers, so geschah das Nämliche, doch schienen die Figuren um den Knopf des Ausladers schwächer und kürzer zu seyn. Hatte der Auslader eine Spitze, und erfolgte die Entladung langsam, so gingen doch die Wellen von der Flasche aus.

---

1 Kongel. Vetensk Acad. Nya Handlingar. Stockholm 1800. 2tes Quartal und daraus bei G. XXXIII. 431.

4. Der Versuch mit einer negativ geladenen Flasche wiederholt, gab dieselben Resultate auf die entgegengesetzte Weise.

5. Wurde der Versuch 3 durch hinlängliche Annäherung des Knopfes des Ausladers an die Flasche, so daſs die Entladung erfolgte, wiederholt, so waren die Wellen von der Flasche und die Strahlen von dem Entlader gegen einander gestoſsen, hatten sich berührt, und der Strahl hatte durch Auseinanderschlagen der Schwefelblumen einen Weg im Zickzack gebildet, der so lange er durch die Wellen lief, schmäler als in den Strahlen war, wo seine Breite 1½ bis 2 Z. betrug. In der Mitte blieb ein sehr schmaler, blaſs grauer Rand, vermuthlich von den geschmolzenen Schwefelblumen, welcher in dem Vereinigungspuncte der Wellen und Strahlen abgebrochen, oder in einer Menge feiner Striche getheilt war.

6. Mit einer negativ geladenen Flasche erfolgte das Nämliche, aber umgekehrt.

7. Am schönsten fällt der Versuch aus[1], wenn zwei gleich groſse geladene el. Flaschen, wovon das äuſsere Beleg der einen positiv, der andern aber negativ geladen ist, 3 bis 4 Zoll von einander auf jene unten mit Stanniol belegte Glasscheibe gestellt werden, so daſs, wenn ihre inneren Belege mittelst eines isolirten Ausladers in Verbindung gebracht werden, ein Funken zwischen den äuſsern Belegen überspringt, der sie entladet. Nach der Entladung findet man rings um die Flasche herum in den Schwefelblumen die Figuren derjenigen E., welche der äuſsern Belegung einer jeden Flasche angehört hat, auf der Stelle aber, wo der Funken übergesprungen ist, sind alle Schwefelblumen weggefegt, und der Weg ist völlig rein. Dieser Weg ist übrigens von der positiven Belegung aus mit positiven, von der entgegengesetzten Belegung aus mit negativen Figuren eingefaſst, die aber nicht weit von dem Puncte, wo sie einander begegnen, aufhören, und hier findet sich oft, wenn der Schlag hinlänglich stark gewesen ist, ein groſser runder Flecken, wo alle Schwefelblumen weggefegt sind, der von keinen Figuren eingeschlossen ist, und wo die groſsen Massen der E. sich zu 0 vereinigt haben. Wenn man zu diesem Versuche Flaschen von verschiedener Gröſse anwendet, jedoch dieselben durch gleich viele Umdrehungen der Elektrisirmaschine mit einer ziemlich gleichen

1 Berzelius Lehrbuch der Chemie von Blöde I. Bd. S. 94.

Menge E. ladet, so findet man den Ausgleichungspunct allemal näher bei der gröſseren Flasche, deren Ladung die geringere Intensität besitzt, ihre äuſsere Belegung mag sich nun im positiven oder negativen Zustande befinden.

Ich habe alle diese Versuche bei ihrer Wiederholung vollkommen genau gefunden, nur zeigten sich mir die Figuren schöner und regelmäſsiger bei Anwendung des Bärlappsaamens, mit welchem sich in dem letzten Versuche der Kranz von Strahlen um das positive, und die Einfassung von runden Figuren, wie von Perlen um das negative Beleg besonders gut ausnahmen. Aus diesen Versuchen, glaubt Ekmark, folge unwidersprechlich, daſs die Schwefelblumen sowohl von der positiven als von der negativen Seite einer geladenen Flasche aus in Bewegung gesetzt werden, welches sich nicht wohl anders als durch ein Ausströmen einer Materie sowohl aus der positiven, als auch aus der negativen Seite erklären lasse, und also einen Beweis für den Dualismus liefere. Auch scheint aus den Versuchen zu erhellen, daſs die negative E. sich nicht träger als die positive verhalte, da in verschiedenen Abänderungen der Versuche bei der Unterbrechung des Entladens das Zusammentreffen genau in der Mitte der Unterbrechung geschah, wenn beide Elektricitäten an beiden Seiten gleichen Widerstand fanden.

Aldini in Bologna[1] stellte gleichfalls Versuche über die Lichtenberg'schen Figuren mit verschiedenen Pulvergemengen an, welche auf Harzkuchen gestreuet wurden, denen durch den Knopf einer Flasche positive oder negative E. an verschiedenen Stellen, oder auch nur eine E. mitgetheilt worden war. Die Figuren, welche diese Pulver bildeten, und die Scheidung derselben von einander durch die Anziehung von denjenigen Stellen des Harzkuchens, welche eine der ihrigen entgegengesetzte E. besaſsen, zeigten an, welches von beiden Pulvern negativ und welches positiv durch durch das Reiben an einander geworden war. Diese Versuche wurden in einem noch gröſseren Umfange durch v. Arnim[2] ausgeführt, und dadurch der elektrische Werth der verschiedenen Materien bei ihrer mechanischen Wirkung auf einander bestimmt, wovon indeſs schon unter dem Artikel *Elektricität* die Rede gewesen ist.

---

1 Annali di Chimica cet. di Brugnatelli. T. XIII. p. 137.

2 G. V. 34.

Die Vergleichung der beiden Lichtenberg'schen Fundamentalfiguren scheint mir allein schon überzeugend genug für eine eigene Thätigkeit der negativen E. zu sprechen, wobei, um die mehreren concentrischen Kreise richtig zu würdigen, nicht zu übersehen ist, dafs auf allen Nichtleitern die an einer Stelle wirkende freie E. auf eine weite Strecke hin abwechselnde Zonen von entgegengesetzten Elektricitäten durch Vertheilung hervorbringt, die mit der Entfernung schwächer und schwächer werden. Dafs auch ohne künstliche Vorrichtungen durch die E. ähnliche Figuren hervorgebracht werden, davon habe ich schon unter dem Artikel *Blitz*[1] ein merkwürdiges Beispiel beigebracht. Es mag hier noch eine zweite interessante Beobachtung folgen, welche vom Geheimenrathe Mayer[2] herrührt. Am 25. Jun. 1785 schlug der Blitz in die Grenadier-Wachtstube am Gubner Thore zu Frankfurt an der Oder, beschädigte mehrere Personen und bezeichnete bei dreien derselben verschiedene Stellen ihres Körpers mit Streifen und Sternen von unterlaufenem Blute, welche mit den el. Figuren auf dem Elektrophore die auffallendste Aehnlichkeit hatten. Bei dem einen ging an der Stelle des Rückens, an der ihn der Blitz getroffen hatte, ein starker rother, mit strahligen Ausflüssen bezeichneter, Streif nach der Länge des Rückgrates gerade herab, uud krümmte sich unten seitwärts. Aus diesem entstanden mehrere schwächere Seitenstreifen, deren stärkster an der rechten Seite hinablief, und sich an drei Stellen in noch feineren strahligen Aesten endigte. Ein ähnlicher Streifen lief an der rechten Wade bis zur Ferse hinab, und auf der linken Wade hatte sich ein einzelner, strahliger Stern gebildet. Ein anderer, ebenfalls von diesem Blitze getroffener, Soldat hatte am linken Oberschenkel eine *sonnenartige* Figur, und am linken Unterschenkel einen zackigen, strahligen Streifen, ein dritter hatte ähnliche Streifen an den Lenden, dem Unterschenkel und beiden Füfsen[3].

Mayer leitet die Entstehung derselben von der negativen E. des Körpers und besonders des Bluts der Getroffenen her, welche den positiven Blitz auf die am meisten negativen Stellen

---

1 I. Bd. 2te Abth. S. 1017.

2 Thedens neue Bemerkungen und Erfahrungen zur Wundarzneikunst und Arzneigel. III. Th. Berlin 1795. 8. S. 66. u. f.

3 Man findet diese Figuren a. a. O. abgebildet.

vorzüglich hingeleitet habe, die Stern- und Sonnenförmigen Figuren erklärt er sich aus metallenen Knöpfen oder Geldstücken, welche an den getroffenen Stellen des Körpers müfsten angelegen haben.

Schwingungsbewegungen durch den Elektrophor vermittelt. Pendelversuche.

Der Dr. Schäffer Königl. Dänischer Rath und Professor und Consenior des Ministeriums in Regensburg, welcher[1] vorzüglich dazu beigetragen hat, dafs der Volta'sche Elektrophor sehr bald in Deutschland bekannt wurde, glaubte gleich bei seinen ersten Versuchen mit demselben, die das el. Glockenspiel betrafen, eine höchst merkwürdige Art von Bewegungen entdeckt zu haben, in welche der Elektrophor unter Mitwirkung einer eigenthümlichen, nur gewissen Menschen zukommenden, Kraft hängende Körper versetze. Die nächste Veranlassung zu diesen Versuchen gab die Wiederholung des bereits von Jacquet angestellten Versuchs, dafs wenn man den Elektrophor auf eine isolirende Unterlage setzt, durch Reiben isolirt, den Deckel und die Form zugleich berührt, und den Deckel an den seidenen Schnüren aufhebt, und auf eine andere isolirende Unterlage (wozu Schäffer gewöhnlich seidene Schnüre gebrauchte, die durch einen Ring angespannt waren) setzt, eine Korkkugel zwischen der Form und dem Deckel pendelartig sich hin und her bewegt, wovon die Ursache aus den oben gegebenen Erklärungen von selbst einleuchtet. Dieses brachte ihn auf den Gedanken, durch den Elektricitätsträger ein ähnliches Läuten kleiner Glocken zu Wege zu bringen, wie es durch die gewöhnliche E. bewirkt werden kann. Er brachte daher eine Glocke, die an einem blauseidenen Faden zwischen dem Daumen und Zeigefinger hing, zwischen zwei andere ebenfalls durch seidene Fäden an angemessenen Gestellen herabhängende Glocken, und wirklich bewegte sich die mittlere Glocke wechselsweise gegen die Nebenglocken, diese Bewegung wurde nach und nach immer stärker, und die Mittelglocke erreichte endlich die Nebenglocken, und bewirkte das el. Geläute. Ein anderes Mal

---

1 Versuche mit dem beständigen Elektricitätsträger. Vier Abhandlungen mit 7 Kupfertafeln. Regensburg 1780. 4.

hielt Dr. SCHÄFFER zufällig eine an einem blauseidenen Faden hängende Glocke zwischen seinen Fingern mitten über einen geriebenen Elektrophor, und sie kam in Schwingungen, die *genau in der Mittagsebene*, nie nach andern Richtungen erfolgten. Er hing darauf die Glocke an einem hölzernen Stativ auf, und nun blieb sie über dem Elektrophore in völliger Ruhe, sobald er aber seine Finger auf den seidenen Faden legte, kam sie wieder in derselben Richtung zum Schwingen, und dazu war es, wie er später fand, schon hinlänglich, dafs die Glocke, indem er ihren Faden berührte, über irgend einem Puncte des Elektrophors hing. Befand sie sich dagegen dem geriebenen Elektrophore zur Seite, und berührte er ihren Faden, so geschah die Schwungbewegung in einer Ebene, die durch den Mittelpunct des Elektrophors ging, und dieses war selbst dann der Fall, wenn der Elektrophor 24 Schritte weit von der Glocke entfernt wurde, sogar wenn eine Mauer oder der Fufsboden beide trennte, war der Elektrophor nur nicht isolirt, oder wurde er in diesem Falle durch eine Elektrisirmaschine verstärkt. Ohne Elektrophor war das Auflegen der Finger auf den Faden ohne Wirkung. Statt der Glocke konnten auch andere Körper, und statt des blauseidenen Fadens andere Fäden, Schnüre oder Ketten mit demselben Erfolge gebraucht werden. Dr. SCHÄFFER hatte nicht einmal nöthig, den Faden zu berühren, woran der Körper hing, es war hinlänglich, *wenn er seine Hand an einen Theil des hölzernen Stativs legte*, an welchem der Faden befestigt war. So fingen drei Glocken, welche von einem Stative herabhingen, an zu schwingen, ohngeachtet seine Hand von den Seitenglokken 3 Fufs, und von der mittleren und dem Elektrophore 2 Fufs entfernt war, die mittlere schwang in der Mittagslinie, die beiden zur Seite in einer Ebene senkrecht auf diese[1]. Kann aber wohl, fragt er, eine unmerkliche Bewegung der Finger oder der Hand als Grund der regelmäfsigen Bewegung der Glocken angesehen werden, wenn sie nach diesen Versuchen von ihnen Schuhe weit entfernt sind? Diese gänzliche Unabhängigkeit von einer unbewufsten, gleichsam unwillkürlichen, Bewegung der Hand, die etwa den Glocken mitgetheilt werden könnte, scheine auch noch auf eine überzeugende Art der Versuch mit einem Stativ mit doppeltem Arme zu beweisen, an deren jedem eine

---

1 a. a. O. S. 50. 51.

Glocke oder andere ähnliche Körper herabhingen. Wurden nämlich zwei Elektrophore genommen, und der eine im Süden oder Osten, der andere im Norden oder Westen gestellt, und die Hand auf den doppelten Arm gelegt, so bewegte sich die eine Glocke nach dem Elektrophore im Süden oder Osten, und die andere nach dem andern im Norden oder Westen regelmäſsig.

„Bei dem letzten Versuche, sagt Schäffer, ist es eine gänzliche Unmöglichkeit, durch eine Bewegung der Hand und Finger zwei entfernten Körpern eine doppelte entgegengesetzte Bewegung und Richtung zu geben, und sie kann also ohne offenbaren Widerspruch ihren Grund in nichts Anderem, als in der verschiedenen Stellung der Elektricitätsträger und der Wirkung auf die beweglichen Körper haben."

Uebrigens erhellet die Einrichtung dieser beiden zuletzt angeführten Gestelle und die Unmöglichkeit, die Kugeln oder Glokken in jene so bestimmte Bewegungen durch eine Mittheilung von der Hand aus zu versetzen, deutlich aus den Zeichnungen. Fig. 164. u. 165.

Aber nicht alle Personen waren zu diesen Versuchen geschickt, die dem Dr. Schäffer fast immer gelangen, so wie auch jedem auf den er seine Hand legte. In den drei Wochen, in denen er sich täglich und ganze Stunden hindurch mit diesen Versuchen beschäftigte, wollte ihm nur an *einem* Nachmittage nichts gelingen, ein anderes Mal nicht in Gegenwart von 12 Personen, dagegen gelangen alle, sobald er den Elektrophor in ein anderes Zimmer trug. Bei den meisten Versuchen war der Elektrophor durch blauseidene Schnüre isolirt, und mit dem Deckel bedeckt, der durch Berührung el. gemacht worden war. Ja selbst groſse Gewichte bis zu drei Centnern, die an Ketten hingen, oder auf einem Waagebalken ruhten, konnten auf diese Weise über einem Elektrophore in Bewegung gesetzt werden, wenn Schäffer nur mit einem Finger ein Glied der Kette berührte, und bei veränderter Stellung des Elektrophors änderte sich auch die Bewegung und Richtung, wie es obigen Gesetzen gemäſs seyn muſste. Der Elektrophor theilte diese seine bewunderungswürdige Kraft auch andern Körpern mit, sowohl Stühlen und Tischen mit oder ohne Wachstuch, lackirten oder nicht lackirten, auf denen er einige Stunden gestanden hatte, so wie andern Körpern aller Art, auf die man ihn einen Augenblick gesetzt hatte. (!) „Ist vielleicht der Elektricitätsträger mehr Magnet als E.?" ruft der Dr. Schäffer bei Erzählung die-

ser Versuche aus. Mehrere Tage nach dieser Verbindung mit dem Elektricitätsträger äußerten die Körper ihre gesetzmäßsige Einwirkung auf Glocken oder andere bewegliche Körper. Diese dauerhafte Eigenschaft eines auf diese Art elektrificirten oder magnetisirten Trinkglases bemerkte Schäffer auch noch nach 4 Tagen, ungeachtet daraus diese Tage über allerhand und oft getrunken war. Noch mehr. Man nehme 12 Bücher, setze auf das eine den Elektrophor für einen Augenblick, drücke dann dieses für einen Augenblick auf das zweite, dieses auf das dritte u. s. f. Alle werden sich bis zum 12ten ihre Kraft und Eigenschaft mitgetheilt haben, frei hängende Kugeln eben so, wie es der ordentliche Elektricitätsträger thut, in Bewegung zu setzen. Schäffer versuchte dieses mit 100 Büchern, und konnte nicht die geringste Abnahme vom ersten bis zum hundertsten gewahr werden. Oft schien die Wirkung vielmehr zuzunehmen. Ja mit diesen Büchern konnte man eben so wieder ganze Reihen von Tellern, Gläsern u. s. w. elektrisiren.

Unter einer Anzahl von mehreren Personen waren stets nur wenige, bei denen die Bewegungen eben so erfolgten wie bei Schäffer, bei den meisten aber gar nicht. Indeſs fand er, daſs diejenigen, welche das Pendel in keine regelmäſsige Bewegung zu versetzen vermochten, diese Eigenschaft erhielten, wenn sie ihre Hände den elektrischen Ausströmungen einer geriebenen Elektrisirmaschine aussetzten, doch war auch dieses Verfahren bei einigen Personen ohne Erfolg. In einem bei dem Werke des Dr. Schäffer abgedruckten Briefe geschrieben den 13. Jan. 1777 zu München erzählt der Professor Xaver Epp, Mitglied der baierschen Akademie der Wissenschaften „er habe von der Akademie den Befehl erhalten, die Schäffer'schen Versuche nachzumachen, aber alle mit den hängenden Glocken seyen seiner unglücklichen Hand nicht gelungen, und dieses habe ihn um desto mehr geschmerzt, da er sich dadurch aller Hoffnung beraubt gesehen, einige Versuche, den thierischen Magnetismus betreffend, anzustellen. Er sey nun ausdrücklich nach Regensburg gereiset, um die Wahrheit zu erfahren. Immer sey ihm anfangs der Zweifel geblieben, daſs alle Wirkungen von einer unmerklichen Bewegung herrührten, die dem Gestelle und den Glocken durch die Hand gegeben werde. Endlich sey er, nachdem Dr. Schäffer viele Geduld bei ihm verschwendet, und nach seinem Belieben verändert habe, was er verlangte, vollkommen überzeugt

worden, und zwar habe ihm besonders dreierlei beweisend geschienen:

1. „Dr. SCHÄFFER habe einen eisernen Balken so an die Thüre befestigt, daſs man ihn nicht im mindesten bewegen konnte, an ihn die Glocke gehängt, und man habe dann nach einer Gegend, wohin der eiserne Balken durchaus unbeweglich war, den Elektrophor 10 Schuhe von der Glocke gestellt. Sobald Dr. SCHÄFFER seine Hand auf das Eisen legte, fing die Glocke an, nach dem Elektrophore zu spielen, so daſs sie endlich 5—6 Zoll weit hin und her schwang.“

2. „Die Schwingungen eines an einem Stative hängenden Körpers zeigten richtig nach dem Orte hin, an welchem man ohne Beiseyn des Dr. SCHÄFFER in dem benachbarten Zimmer den Elektrophor gestellt. 3. EPP's eigene Hand war hier eben so unglücklich als in München, sobald aber Dr. SCHÄFFER seine Hand auf die seinige auch nur gelinde legte, zeigte sich die Wirkung, jedoch später und schwächer.“

Auſserdem findet sich noch bei Dr. SCHÄFFER's Abhandlung ein Brief vom 20. Oct. 1778 aus München von Dr. SCHRANCK, worin von einem Münchner Gelehrten versichert wird, daſs ihm die Schäffer'schen Versuche vollkommen geglückt seyen, Auch findet sich in des Freiherrn von ARETIN Nachträgen zur Literatur der Wünschelruthe aus Ritter'schen Collectaneen, daſs einer der drei Verfasser der drei Münchner Preisabhandlungen über die Analogie der E. und des Magnetismus[1] nämlich CÖLESTIN STEIGLEHNER sagt, er sey gröſstentheils Augenzeuge der Versuche des Dr. SCHÄFFER gewesen, und daſs der Abt HEMMER zu Manheim in einer Recension seiner drei Preisabhandlungen[2] bezeugen soll, daſs ihm selbst die Schäffer'schen Versuche vollkommen gelungen seyen, doch nicht an allen Tagen. LICHTENBERG versichterte dagegen späterhin, nie mit seinem kräftigen Instrumente bei aller Vorsicht im Stande gewesen zu seyn, auch nur das mindeste von der Art der Schäffer'schen Versuche hervorbringen zu können, was sich ereignete, sey allemal aus der gewöhnlichen Theorie ohne Voraussetzung neuer Kräfte erklärbar gewesen.

---

1 In den neuen philos. Abhandl. der baierschen Akad. der Wiss. Bd. 2. München 1780. 4.

2 In den rheinischen Blättern zur Gelehrsamkeit für 1781. Heft 5.

Die Versuche Schäffer's waren längst vergessen, als sie in einer ganz neuen Verknüpfung wieder zum Vorschein kamen, und durch die wichtigen Aufschlüsse, die sich einige Physiker davon versprachen, die Aufmerksamkeit noch in einem höheren Grade als jene früheren auf sich zogen. Als nämlich THOUVENEL seine Untersuchungen über die sogenannte *unterirdische Elektricität* bekannt machte [1], worin ein gewisser PENNET, ein sogenannter Metall- und Wasserfühler, eine Hauptrolle spielte, welcher die merkwürdige Disposition besitzen sollte, durch unterirdische Erzgänge, Kohlenlager, Wasser u. s. w. auf eine eigenthümliche Art afficirt zu werden, und die Gegenwart derselben durch besondere Empfindungen, Zittern seiner Muskeln und Veränderung des Pulses anzuzeigen, Untersuchungen, die damals besonders die italienischen Gelehrten beschäftigten, erschien auch ein Brief des Abbate FORTIS an SPALLANZANI [2], in welchem der merkwürdige Versuch erzählt ist, dafs in den Händen gewisser dazu die gehörige Anlage habender Personen ein an einem hinlänglich, etwa zwei Fufs, langen Faden wie Flachs, Hanf oder Seide, hangender Schwefelkieswürfel über einer hinlänglichen, auch in einer Schieblade versteckten, Masse von Metall in schwingende Bewegungen gerathe, und zwar entweder in Kreisen, die immer gröfser werden, umherlaufen, oder in sehr schmalen Ellipsen hin und her schwinge, welche Bewegungen sich wieder verengen und sehr bald zur Ruhe kommen, wenn man den Schwefelkies über einen Stein, ein Buch oder über Holz führt, das Metall aus der Schieblade wegnimmt, oder auch nur den Ellbogen auf den Tisch stützt, in dessen Schieblade sich das Metall befindet, oder ihn sonst mit einem Theile seines Körpers berührt, oder selbst wenn irgend ein Anderer, der mit dem Experimentator in Berührung ist, sich auf den Tisch stützt. ALEX. V. HUMBOLDT, welcher [3] von diesen Versuchen eine kurze Nachricht giebt, bemerkte schon, dafs sobald ihm die Augen verbunden wurden, der Schwefelkieswürfel über der Metallplatte in Ruhe blieb.

---

1 Resumé sur les experiences d'électricité souterraine, faites en Italie et dans les alpes depuis 1789—1792. Brescia 1793.

2 Lettera del Abate Alberto Fortis sugli sperimenti di Pennet nel regno di Napoli, nella Romagna, e sullo stato Veneto.

3 Ueber die gereizte Muskel- und Nervenfaser I. 470.

Diese Versuche, von welchen man so gut wie keine Notiz genommen hatte, bekamen auf einmal im Jahre 1807 ein neues Leben durch den bekannten Physiker Ritter, damals in München, nachdem dieser von einem ähnlichen angeblichen Metall- und Wasserfühler, wie Pennet, einem gewissen Campetti, einem tyroler Landmanne, Nachricht bekommen, und die baiersche Regierung veranlaſst hatte, zur Anstellung einer Reihe von wissenschaftlichen Versuchen denselben nach München kommen zu lassen. So wurde denn dieselbe Akademie der Wissenschaften, welche schon früher die Schäffer'schen Versuche zu einem Gegenstande ihrer Prüfung gemacht hatte, von neuem in diese Sphäre mystischer Erscheinungen hineingezogen.

Durch ganz Deutschland fingen an Pendel, eben nicht von Schwefelkies (denn es war gleichgültig, welche Körper an dem Faden hingen, und jeder goldene Ring, der schon in früheren Zeiten nach einem superstitiösen Gebrauche in ein Glas gehalten, durch die Zahl seiner Anschläge an dasselbe, nachdem er allmälig in Schwingung gerathen war, die Anzahl der Lebensjahre andeuten sollte, konnte dazu gebraucht werden), durch ganz Deutschland fingen nunmehr an Pendel zu schwingen, und lebendig zu werden (wie in der ersten Nachricht von den Münchener Versuchen gesagt ist), und zwar nach sehr bestimmten Gesetzen, die schon voraus durch die in dieser Zeit vorzüglich herrschend gewordenen Polaritätsideen, und den polaren Gegensatz, den man überall verfolgte, angedeutet waren, und die sich vorzüglich durch den Gegensatz von Rechts und Links in diesen Bewegungen dem Gegensatze der Körper gemäſs, über welchen die Schwingungen erfolgten, ausdrücken sollten. Ueber dem Nordpole des Magnetes sollten diese mit leise anhebenden, längliche Ellipsen beschreibenden, allmälig sich rundenden Schwingungen von der Linken nach der Rechten, über dem Südpole von der rechten nach der linken gehen; über Kupfer oder Silber wie über dem Südpole; über Zink und Wasser wie über dem Nordpole. Es sollte hierbei nicht gleichgültig seyn, ob man sich von oben herab dem Gegenstande, und zwar so viel als möglich seine Mitte haltend, oder von der Seite näherte; im letzten Falle sollte sich nämlich das Verhältniſs dergestalt verändern, daſs z. B. die oben in Beziehung auf den Nordpol angegebene sich in die entgegengesetzte umwandelte. Auch sollte es nicht einerlei seyn, ob man mit der rechten oder lin-

ken Hand operirte, denn zwischen der rechten und linken Seite sollte der Gegensatz bei manchen Personen bis zur entschiedensten Polarität ausgebildet seyn. Wenn man den Würfel, Ring u. d. g. über eine Orange, Apfel u. s. w. hielte, so sollte er über die Frucht, da, wo sie am Stiele festgesessen, schwingen wie über dem Südpole des Magnetes, wenn man dagegen die Frucht auf die entgegengesetzte Seite wendete, indem man fortfuhr, das Pendel über sie zu halten, so sollte sich die Bewegung in die entgegengesetzte ihrer Richtung nach verändern. Eben solche entgegengesetzte Polaritäten sollten sich an den beiden entgegengesetzten Enden eines frischen Eies zeigen. Am auffallendsten sollte das Pendel die Polarität des menschlichen Organismus anzeigen. Ueber dem Kopfe gehalten schwingt der Würfel angeblich wie über Zink, an der Fufssohle wie über Kupfer u. s. w. dieselbe Kraft, welche das Pendel in Bewegung setzt, sollte auch das Princip der Bewegungen der Wünschelruthe oder *Baguette* seyn, für welche Ritter als ein noch sichereres Instrument von mehr regelmäfsigem Gange, seinen sogenannten *Balancier* in Vorschlag brachte, einen kleineren Stab oder rectangulären Streifen von Kupfer oder von irgend einem andern Metalle, selbst von Glas oder Siegellack, ungefähr 6 Z. lang, $\frac{1}{2}$ Z. breit und von willkürlicher Dicke, den man auf der Spitze eines senkrecht ausgestreckten Fingers, während die andern gekrümmt sind, in genau horizontaler Lage ins Gleichgewicht bringt, wozu sich am meisten der Mittelfinger der linken Hand eignet. Man hält den Finger, der den *Balancier* trägt, möglichst unbewegt, und für diesen ist die schicklichste Stellung, dafs das eine Ende desselben gegen die Person gerichtet ist, welche den Versuch anstellt, und das andere Ende nach Aufsen. So wie das Pendel über den entgegengesetzten Metallen in entgegengesetzten Richtungen schwingt, so soll der *Balancier* bei denjenigen Personen, die eine hinlänglich starke Disposition haben, was jedoch bei wenigen der Fall ist, sehr bald in eine drehende Bewegung kommen, und zwar dreht er sich auf dem Mittelfinger, dem Zeigefinger oder Daumen der linken Hand ruhend nach Aufsen, d. h. nach der rechten Seite, dagegen auf dem Ringfinger und kleinen Finger nach Innen d. h. nach der linken Seite. Steht die Person während des Versuches mit Metallen oder einigen andern Körpern in Berührung, so hat dieses auf die Richtung der Bewegung grofsen

Einfluſs, und namentlich zeigte sich bei CAMPETTI, während er den *Balancier* auf dem Mittelfinger der linken Hand trug, wenn er galvanisch positive Metalle wie Zink, Zinn, Blei oder Stahl unter seinen Füſsen hatte, die Bewegung nach einer der gewöhnlichen entgegengesetzten Richtung, d. h. der Streifen ging von der Rechten zur Linken, war es aber Eisen, Kupfer, Messing, Silber, Kohle, Reiſsblei, so geschah das Drehen nach der gewöhnlichen Richtung mit groſser Kraft. Auf dieselbe Art, wie die positiven Metalle, wirkte auch der Nordpol eines Magnetstabes, das obere Ende irgend einer Frucht, die Wurzel und der ihr nächst gelegene Theil eines Stammes, und der Kopf eines Kindes oder Mannes; dagegen nach Art der negativen Metalle wirkte der Südpol eines Magnetstabes, das nach dem Stiele zugerichtete Ende einer Frucht, das obere Ende eines Baumes oder einer Pflanze, das Knie oder die Fuſssohle eines Kindes oder Mannes.

Doch es würde zu weit führen, wenn ich die mannigfaltigen polaren Gegensätze zwischen Theilen des menschlichen Körpers, Functionen desselben, und andere Thätigkeiten und Substanzen der Natur, welche in der Wechselwirkung mit dem *Balancier* und der Wünschelruthe durch die entgegengesetzten Bewegungen derselben, den Ritter'schen Angaben zufolge, documentirt werden sollten, hier weiter verfolgen wollte. Man kann dieser Mühe um so mehr überhoben seyn, da es wohl keinem Zweifel unterworfen ist, daſs die meisten Beobachtungen dieser Art auf einer Selbsttäuschung nach vorgefaſsten Ideen beruhten, überhaupt diese ganze Sache fast so gut wie in Vergessenheit gerathen, und keine jener groſsen Erwartungen erfüllt worden ist, mit welchen die scheinbar neue Entdeckung sich damals ankündigte. So groſse Anstalten auch gemacht worden waren, um an dem FRANCESCO CAMPETTI die Thatsachen des Wasser- und Metallfühlens durch gewisse dazu disponirte Constitutionen auſser Zweifel zu setzen, indem sogar eine eigene Commission der baierschen Akademie der Wissenschaften zu diesem Behuf niedergesetzt worden war, welcher RITTER einen weitläufigen Entwurf zu den mit CAMPETTI anzustellenden Versuchen vorgelegt hatte[1], so kam es doch zu keinem entscheidenden Resultate, wobei es unentschieden bleiben muſs, wie

1 Siehe dessen Siderismus. I. Bd. 1stes St. 1808, S. 51.

viel Selbsttäuschung oder Betrug von Seiten des italienischen Wasser- und Metallfühlers im Spiele war, der wieder in die Verborgenheit seiner Heimath Gargnano am Gardasee zurückgebracht worden ist, aus welchem er nie mit solchem Lärm hätte hervorgezogen werden sollen.

Für das scheinbar Gesetzmäfsige, was sich bei den Pendelversuchen, die in jener Zeit von so vielen Händen angestellt wurden, insbesondere dafs sie über runden Körpern mehr kreisförmig, über länglichen Körpern mehr als enge Ellipsen erschienen, oder eine geradlinige Richtung von dem einen Ende derselben zum andern befolgten, wurde in einem damals in Gilbert's Annalen[1] erschienenen Aufsatze mit vielem Scharfsinne eine feine unbewufste Association zwischen Augen- und Handbewegungen als Ursache nachgewiesen, womit auch das Eintreten dieser Pendelschwingungen überhaupt auf eine einfache mechanische Weise erklärt ward. In dem Verhältnisse nämlich, in welchem das Auge die Peripherie eines Körpers durchläuft, um ein Bild seiner Gestalt aufzufassen, folgt die Hand, welche den Faden hält, an welchem der bewegliche Körper hängt. Nach der von der zartesten Kindheit her festgewurzelten Association, welcher zufolge die Hand dem Auge überhaupt in seinen Bewegungen unwillkürlich nachfolgt, begleitet die Hand diese Bewegnng in gleicher Richtung, und verschafft durch den feinen Anstofs, den sie dem Pendel giebt, und der sich immer wieder erneuert, diesem Pendel die sich immer mehr erweiternden Schwingungen über runden Körpern, oder in dem kreisförmigen umschlossenen Raume jenes Glases. Der augenscheinlichste Beweis davon liegt darin, dafs auch bei denen, welche hierbei eine blofs dynamische Einwirkung ohne jenen mechanischen Anstofs voraussetzten, und diese Fähigkeit zu besitzen glaubten, alle Bewegungen und wenigstens alles Regelmäfsige, insbesondere alles was sich auf sogenannte polare Gegensätze bezog, aufhörte, sobald sie ihre Augen schlossen. Was die Richtung des Pendels in seinen Bewegungen bald von der Linken zur Rechten, bald umgekehrt betrifft, so bemerkt jener Aufsatz: „Blieb sich das Auge beim Fixiren eines Kreises gleich-

1 Versuch einer aus mechanischen Ursachen hergeleiteten Erklärung der Schwingungen u. s. w. in Gilb. kritischen Aufsätzen. S. 121. auch in den Annalen XXVII. S. 41.

sam selbst überlassen, so erfolgte die Schwingung kreisförmig von der Rechten zur Linken, wenn das Pendel mit der rechten Hand gehalten wurde, von der Linken zur Rechten aber, wenn es sich in der linken Hand befand. Da das Auge beim Anschauen einer Figur dieselbe nicht in allen Puncten zugleich fixiren kann, so bekommt es die Vorstellung von einem Kreise eigentlich nur dadurch, dafs es dieselbe continuirlich von Punct zu Punct verfolgt. Nun ist aber Gesicht und Getaste von der Natur in eine so innige Beziehung gesetzt, dafs die Hand bei jeder Gesichtsvorstellung gleichsam unwillkürlich strebt, dieselbe durch Betastung des gesehenen Gegenstandes zu berichtigen, wobei die rechte Hand ihrer mechanischen Einrichtung gemäfs ohne besondern Einflufs des Willens geneigter seyn wird, sich gegen die Linke, und die Linke gegen die Rechte zu bewegen. Hält man demnach das Pendel über eine runde Scheibe, oder über jeden beliebigen Kreis, der zu grofs ist, um als ein Punct in allen Theilen zugleich fixirt werden zu können, oder klein genug, um eine gleichzeitige Beachtung des Pendels zuzulassen, so fällt das Auge zunächst wechselsweise bald auf das Pendel, bald auf den Kreis, denn beide sind ihm als Objecte gegeben, wodurch zwischen dem zuerst fixirten Puncte und dem Pendel eine geradlinige Bewegung des Auges und demnächst der Hand entsteht. Zu gleicher Zeit aber wird das Auge disponirt, den Kreis seiner Peripherie nach zu umlaufen, wefswegen die geradlinige Schwingung des Pendels sogleich in eine kreisförmige übergeht, wobei das Auge durch Aufmerksamkeit auf die rechte Hand bestimmt wird, links, auf die linke Hand rechts zu laufen, in welcher Richtung hierauf die Bewegung der Hand und des Pendels folgt."

In dieser Art sind nun sehr mannigfaltige Veränderungen, die sich in den Bewegungen des Pendels, nach Verschiedenheit der Form der untergelegten Körper, nach der Art wie das Auge diese Körper fixirt, ereignen können, sehr befriedigend erklärt, und selbst die sogenannten Gegensätze, oder Polaritäten in diesen Bewegungen sehr einleuchtend gemacht. Der Verf. bemerkt, dafs auch alle mögliche Bewegungen des Pendels erfolgten, wenn dieses in freier Luft gehalten wurde, und man sich die nöthigen Figuren lebhaft einbildete, und so findet er auch die Täuschungen in Rücksicht auf die entgegengesetzte Richtung der Bewegungen über sogenannten polarisirenden, oder polarisch

entgegengesetzten, Körpern sehr begreiflich, denn wenn man, während man das Pendel über einen solchen Körper hält, dem man irgend einen bestimmten Pol zuschreibt, von dem eine bestimmte Bewegung abhängt, sich recht lebhaft die Bewegungen vorstellt, die derselbe bewirken soll (z. B. der Südpol eines Magnets von der Linken zur Rechten), so wird aus obigem Grunde die erwartete Bewegung selten ausbleiben, besonders wenn der fixirte Körper ohnehin kreisförmig ist.

Ich würde diesem Gegenstande an diesem Orte nicht so viel Platz eingeräumt haben, wenn er nicht in so unmittelbarer Verknüpfung mit jenen ersten Versuchen Schäffer's stände, die wenigstens so, wie sie vor uns liegen, nicht wohl unter die Kategorie einer bloſsen durch vorgefaſste Meinungen herbeigeführten Selbsttäuschung gebracht werden können. Indeſs stehen eben diese Versuche selbst wieder so isolirt, und eben damit so räthselhaft da, daſs sie weniger dem Physiker und einer Wissenschaft anzugehören scheinen, die nur Erscheinungen beobachtet, welche, wenn sie von Versuchen abhängen, immer wieder dargestellt werden können, und die auf Kräften beruhen, welche an sehr feste einfache Gesetze gebunden sind, als vielmehr dem Physiologen und einer Sphäre von Erscheinungen, in welcher gleichsam jedes Individuum seine eigenthümlichen Gesetze befolgt, und der Mittelpunct einer eigenen kleinen Welt ist, und der Entwickelungsgrund von Verhältnissen, die immer neu entstehen. Aus diesem Gesichtspuncte betrachtet mögen spätere Versuche dieser Art, wie z. B. von Knoch[1] und Amoretti's[2] Arbeiten auf diesem Felde immer noch einen Anspruch auf eine Stelle in einem medicinischen Wörterbuche haben[3]. *P.*

---

1 S. G. LIX. 328.

2 S. G. LX. 255.

3 Cavallo Vollst. Abh. der Lehre von der E. 4te Aufl. 1ster Bd. S. 348. ff. II. Bd. S. 1. ff.

Ingenhouss elektrische Versuche zur Erklärung des Elektrophors nach der Theorie des Dr. Franklin in der Samml. zur Physik und Naturg. II. Bd. 5tes St.

Dr. Schäffer's Versuche u. s. w. Regensburg 1780.

Neue elektrische Versuche u. s. w. von Joh. Georg Heince. Oldenburg 1779.

Heidmann's, vollständige Theorie der Elektricität. I. Bd. S. 60. ff.

Elektrophor, doppelter.

Eine von LICHTENBERG in Göttingen erfundene Einrichtung des Elektrophors, welche dazu dient, beide Elektricitäten, die positive und negative, auf eine bequeme Art gleich neben einander zu haben.

Man nimmt ein Brett von Lindenholz, ohngefähr 2 Fuſs lang, einen Fuſs breit und einen Zoll dick, überzieht dasselbe ganz mit Zinnfolie oder Goldpapier so, daſs auch der äuſsere Rand belegt wird, befestigt darum mit metallenen Nägeln, welche bis in die Belegung hineingehen, einen Rand von dünnem Holzspahn, der 2¼ Linie über das Brettchen hervorragt. Dieses Brett, welches hiernach die Gestalt einer Schüssel hat, gieſst man mit einer Harzcomposition aus. Der dazu gehörige Deckel hält etwa 10 Zoll im Durchmesser. Man reibt die Stelle A mit einem Hasen- oder Katzenfelle, oder mit Flanell, so wird sie negativ, hingegen der darauf gelegte und berührte Deckel nach dem Aufheben positiv. Alsdann stellt man auf B einen messingnen Ring, etwa einen Zoll hoch, und eben so weit im Durchmesser, und läſst aus dem von A aufgehobnen Deckel Funken darauf schlagen, wodurch die Stelle des Harzkuchen, die der Ring berührt, positiv wird. Nach jeder Operation verschiebt man den Ring ein wenig mit einem Federkiele, einer Stange Siegellack, oder einem andern Nichtleiter so, daſs er etwa in acht Operationen gröſstentheils über den ganzen Raum B geführt worden ist, und nimmt ihn alsdann ab. Hierdurch wird B positiv, und der darauf gelegte, berührte und wieder abgenommene Deckel negativ. Also hat man beide Elektricitäten in A und B neben einander; A macht den Deckel positiv, und B negativ. Mit dieser negativen E. kann man A noch stärker negativ machen, indem man den messingnen Ring auf A

Fig. 166.

PARROT, Entretiens sur la Physique 1822. Tome V. p. 54.

LICHTENBERG's 6te Auflage von Erxleben's Anfangsgründen der Naturlehre 1793. §. 538. 549.

J. A. DE LUC Neue Ideen über die Meteorologie. I. Theil. Breslau 1787. gr. 8. S. 390. ff.

Ueber die Lichtenberg'schen Figuren von A. PAETS VAN TROOSTWYK und KRAYENHOFF in den Leipz. Samml. 4ter Bd. 4tes St. 1790. gr. 8. S. 357.

setzt, und mit dem von B aufgehobenen Deckel einen Funken daraus zieht. So kann man immerfort abwechseln, und dadurch beide Elektricitäten bis zu einem beträchtlichen Grade verstärken[1].

Joseph Weber hat einen Doppelelektrophor angegeben, der aus einem Harzkuchen besteht, der nicht in eine Form gegossen ist, sondern auf die oben angegebene Weise so, dafs er an seinen beiden Flächen frei ist. Erregt man in diesem Harzkuchen durch Reiben die negative E., so wird er auf der entgegengesetzten Seite, wie in der Theorie des Elektrophors nachgewiesen worden ist, positiv el., und kehrt man ihn also um, so bringt er mit dieser Fläche die entgegengesetzten Erscheinungen hervor. Man kann auch der einen Fläche durch eine geladene Flasche positive E. mittheilen, wo dann die entgegengesetzte Fläche mit negativer E. wirken wird. Auf dieselbe Weise kann man eine Glasplatte, deren Flächen beide frei sind, als einen Doppelelektrophor gebrauchen, sey es nun, dafs man durch Reiben, oder noch kräftiger durch Mittheilung von einem positiven Conductor aus, die eine Fläche positiv elektrisire. Die entgegengesetzte Fläche wird dann mit negativer E. wirksam seyn, und der auf jede Fläche gesetzte Deckel des Elektrophors wird die der eigenthümlichen E. derselben entsprechenden Erscheinungen zeigen[2]. *P.*

Elemente.

Urstoffe, Uranfänge der Körper; *Elementa, Principia prima corporum;* **Élémens, Principes des Corps;** *Elements.* Man kann die Verschiedenartigkeit der wägbaren Materien von zwei verschiedenen Ursachen ableiten. Entweder liegt allen ein und derselbe Urstoff zum Grunde; je nachdem aber die kleinsten Theile desselben geformt und vereinigt sind, entspringen daraus verschiedenartige Materien. Dieses war die Ansicht mehrerer alten griechischen Philosophen. Oder es giebt mehrere Urstoffe, welche nicht blofs durch den Bau, sondern auch durch ihre übrigen Eigenschaften von ein-

1 Lichtenberg's Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte. I. Bd. 2tes St. S. 42.

2 Begriff und Construction des Doppelelektrophors aus Harz und Glas. Von Dr. Jos. Weber bei G. LI. 198.

ander abweichen. Durch ihre Verbindungen unter einander, nach verschiedenen Verhältnissen, werden die mannigfaltigen Materien, welche wir kennen, hervorgebracht. Bei dieser, ebenfalls schon im Alterthume ausgesprochenen Ansicht waren die verschiedenen Urstoffe zu bestimmen. Lange nahm man als solche *Erde, Wasser, Luft* und *Feuer* an. Zu den Zeiten von PARACELSUS galten der *Mercur*, worunter alles Flüchtige, der *Schwefel*, oder das *Oel*, worunter alles Brennbare, das *Phlegma*, worunter alles Flüssige und Geschmacklose, die *Erde*, worunter alles Feste, Geschmacklose und Unlösliche, und das *Salz*, worunter alles Feste, Schmeckende und Lösliche verstanden wurde, als Elemente. Sind nun gleich durch die neuere Chemie die meisten von diesen Stoffen als zusammengesetzt erkannt worden, so ist man heutzutage doch nicht im Stande, mit Sicherheit anzugeben, welche Stoffe als Elemente oder als wirklich einfach und also unzerlegbar zu betrachten sind. Wir kennen blofs auf der einen Seite erwiesen *zusammengesetzte*, auf der andern Seite *unzerlegte* Stoffe, d. h. solche, bei denen es uns noch nicht geglückt ist, sie in heterogene Materien zu zersetzen, und die demungeachtet zusammengesetzt seyn können. Diese unzerlegten Stoffe sind folgende: *Sauerstoff*, *Stickstoff*, *Wasserstoff*, *Fluor*, *Chlor*, *Jod*, *Selen*, *Schwefel*, *Phosphor*, *Kohlenstoff*, *Boron*, *Silicium*, *Zirkonium*, *Titan*, *Tantal*, *Scheel*, *Molybdän*, *Osmium*, *Arsenik*, *Antimon*, *Tellur*, *Wismuth*, *Zink*, *Kadmium*, *Zinn*, *Blei*, *Quecksilber*, *Silber*, *Palladium*, *Rhodium*, *Iridium*, *Platin*, *Gold*, *Kupfer*, *Nickel*, *Kobalt*, *Mangan*, *Chrom*, *Eisen*, *Uran*, *Alumium*, *Glycium*, *Yttrium*, *Magnium*, *Calcium*, *Strontium*, *Baryum*, *Lithium*, *Natrium*, *Kalium*. *G.*

Elemente

der Bahn der Planeten und Kometen; *Elementa orbitae*; Elements de l'orbite, *Elements of the orbits*; sind diejenigen wesentlichen Bestimmungsstücke, durch welche man die Bahn eines Planeten oder Kometen genau kennen lernt.

Da wir aus theoretischen Gründen wissen, dafs die Bahn eines Himmelskörpers ganz in einer Ebene liegt, und dafs diese Ebene durch den Mittelpunct der Sonne geht; da wir ferner wis-

sen, dafs, nach dem in unserm Sternsysteme geltenden Gesetze der Attraction, die Bahnen nur Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln seyn können, so läfst sich leicht übersehen, welche Elemente der Bahn man kennen mufs, um die Bahn selbst genau zu kennen.

Um die *Lage der Ebene* zu bestimmen, dienen 1. die Neigung gegen die Ekliptik, und 2. der Ort des aufsteigenden Knotens. Letzterer giebt nämlich die Lage der Durchschnittslinie an, in welcher die zu bestimmende Ebene die Ekliptik schneidet. Um die Gestalt der in dieser Ebene beschriebenen Bahn anzugeben, sind drei Elemente nöthig, nämlich 1. die Lage der grofsen Axe der Bahn, oder derjenige heliocentrische Ort, wo der Himmelskörper seine Sonnennähe erreicht, welchem die Sonnenferne, wenn die Bahn eine Ellipse ist, gerade gegenüber liegt. 2. Die Gröfse der halben Axe der Bahn oder die mittlere Entfernung von der Sonne. 3. Die Excentricität der Bahn, oder das Verhältnifs, welches der Abstand des Brennpunctes vom Mittelpuncte zur halben Axe hat. Bei der Parabel kann statt der beiden letzten Elemente nur eines, nämlich der Abstand in der Sonnennähe, angegeben werden, da in der Parabel eben so wenig die halbe Axe als die Excentricität angegeben werden kann. Ist die Bahn eines Kometen eine Hyperbel, so nennt man die Excentricität negativ, und die halbe Axe kann gleichfalls angegeben werden.

Durch die eben genannten Elemente ist, wofern die Bahn eine Ellipse ist, auch die Umlaufszeit des Planeten bekannt, indem diese aus dem dritten Keplerschen Gesetze[1] mit Hülfe der mittlern Entfernung gefunden wird. Aber um den Ort des Himmelskörpers für einen bestimmten Zeitpunct anzugeben, fehlt noch ein sechstes Element, nämlich die *Epoche*, das heifst die Angabe, in welchem Puncte der Bahn sich der Himmelskörper in einem gegebnen Augenblicke befand. Bei den Kometen giebt man gewöhnlich den Augenblick an, da sie die Sonnennähe erreichten, oder die Zeit des Perihelii. Bei den Planeten ist die Epoche gewöhnlich der Anfang irgend eines bestimmten Jahres z. B. in Laplace Exposition du système du monde der Anfang des Jahres 1750. Aus diesen Elementen läfst sich der wahre Ort des Planeten für jede Zeit berechnen. Die Epoche

---

1 S. *Bahn* Th. I. S. 671.

giebt nämlich die mittlere Länge des Planeten für jenen Zeitpunct an. Rechnet man also für die seit der Epoche verflossene Zeit die der ganzen Umlaufszeit gemäfse mittlere Bewegung hinzu, so hat man den *mittlern Ort* für den angegebnen Zeitpunct; da man aber auch den Ort der Sonnennähe kennt, so giebt der Unterschied beider die *mittlere Anomalie*, und da sich aus der mittlern Anomalie die *wahre Anomalie* finden läfst, so ergiebt sich der wahre Ort in der Bahn. Es erhellet aber sogleich, dafs der Abstand dieses wahren Ortes vom Knoten der Bahn, verbunden mit der Neigung der Bahn, die heliocentrische Länge und Breite des Planeten angiebt.

Auch bei den Kometen ist die Bestimmung ziemlich eben so, da man aus ihrem Abstande von der Sonne im Perihelio, die in bestimmter Zeit erlangte Anomalie sogleich herleiten kann.

Wenn man die Elemente einer Kometenbahn auch nur so zu berechnen im Stande ist, wie sie einer parabolischen Bahn entsprechen, so reichen diese dennoch hin, zu bestimmen, ob der Komet schon sonst beobachtet und berechnet ist. Findet man nämlich, dafs der neu beobachtete Komet sich in eben der Ebene bewegt, wie ein früher beobachteter, dafs die Axe seiner parabolischen Bahn mit der Axe der Bahn des früher beobachteten zusammenfällt, und er in eben der Entfernung von der Sonne seine Sonnennähe esreicht, so heifst das, er durchläuft genau dieselbe Parabel wie der früher beobachtete. Nun ist es freilich wahr, dafs diese Parabel vielleicht nie die genaue Bahn ist, sondern dafs wir uns statt derselben eine sehr lange Ellipse, deren perihelischer Abstand eben so grofs ist, denken müssen, und es könnte also allenfalls seyn, dafs zwei sehr verschiedene Ellipsen, die sich im Scheitel berührten, von diesen zwei Kometen durchlaufen würden; aber dies ist doch so wenig wahrscheinlich, dafs wir mit grofser Sicherheit den neuen Kometen als einerlei mit dem früher beobachteten ansehen dürfen. Ja wir sind sogar dann hierzu ziemlich berechtiget, wenn die Elemente nicht ganz genau zusammenstimmen, da vermöge der Perturbationen die Lage der Bahn und ihre Gestalt und Gröfse Abänderungen erleiden, die bei der langen Umlaufszeit der Kometen nicht unerheblich sind. *B.*

Elementenglas.

Ein Gefäſs, welches 4 nicht chemisch mit einander verbindbare Flüssigkeiten enthält, welche die 4 Elemente der Alten vorstellen sollen, und sich nach jedesmaligem Schütteln ihrem verschiedenen specifischen Gewichte gemäſs über einander lagern. Diese Flüssigkeiten sind: 1. Quecksilber; 2. die Auflösung von (Kieselerde-freiem) kohlensaurem Kali in der ungefähr gleichen Wassermenge; 3. gewöhnlicher Weingeist; 4 rectificirtes Steinöl. Man kann das wässerige kohlensaure Kali, welches das Wasser darstellen soll, durch etwas kohlensaures Kupferoxyd blau färben, und das Steinöl, welches das Feuer wäre, durch Drachenblut roth; doch theilt sich letztere Farbe auch dem Weingeiste mit. *G.*

Elongation.

Ausweichung; *Elongatio*; Élongation; *Elongation;* heiſst die scheinbare Entfernung eines Planeten, von der Sonne oder der Winkel, welchen die nach dem Planeten und nach dem Mittelpuncte der Sonne gezogne Linien mit einander bilden. Bei den untern Planeten hat diese Elongation einen gröſsten Werth, worüber sie nicht hinausgeht. Der Planet erreicht diese gröſste Elongation, wenn die von der Erde zu ihm hin gezogene Linie die Bahn des Planeten berührt; es ist daher leicht, für eine kreisförmige Bahn des Planeten, dessen Abstand von der Sonne bekannt ist, die gröſste Elongation zu berechnen. Wegen der elliptischen Form der Bahnen sind nicht immer die gröſsten Elongationen gleich groſs, sondern es hängt dieses von der Stellung ab, welche der Planet in seiner Bahn hat, wenn jene Gesichtslinie eine Tangente der Bahn ist. Die *Venus* kann sich nie volle 48 Grade, der *Mercurius* nur 28½ Gr. von der Sonne entfernen. *B.*

Emanationssystem.

Emissionssystem. So nennt man diejenige Theorie des Lichtes, welche annimmt, daſs das Licht als wirklich materiell von den leuchtenden Körpern ausgehend anzusehen sey,

oder dafs es Lichttheilchen sind, die mit sehr großer Geschwindigkeit den Raum durchlaufend zu den Orten, wo sie Erleuchtung bewirken, hingelangen.

NEWTON[1] wirft am Ende seiner Optik unter mehreren andern Fragen auch die auf, ob die Aussendung des Lichtes (*emissio luminis*, émission de la lumière, *emission of light*) vielleicht durch eine vibrirende Bewegung der leuchtenden Körper hervorgebracht werde; aber er macht nachher auf mehrere Schwierigkeiten aufmerksam, denen diese Hypothese unterworfen ist. In der 19ten Frage äufsert er nämlich, alle die Meinungen möchten wohl irrig seyn, welche die Phänomene des Lichtes aus neuen Modificationen der Strahlen herleiten, diese beruhten vielmehr auf proprietatibus congenitis et immutabilibus. Auch die Meinung sey irrig, dafs das Licht in einer blofsen durch ein Medium fortgepflanzten Bewegung bestehe, indem die geradlinige Bewegung an einem das Licht aufhaltende Hindernisse vorbei nicht statt finden könne, wenn jene, der Wellenbewegung ähnliche, Fortpflanzung statt fände, u. s. w. Dieses veranlafst ihn denn endlich in der 21ten Frage folgendes aufzustellen: Ob nicht die Lichtstrahlen kleine Körperchen sind, die von den leuchtenden Körpern ausgesandt, und durch die anziehenden Kräfte, mit welchen das Licht und die Körper auf einander wirken, gebrochen werden? Solche Körperchen nämlich würden durch gleichartige Medien in geraden Linien fortgehen; sie könnten gewisse Eigenschaften besitzen, und diese beim Durchgange durch verschiedene Medien ungeändert behalten; die Gesetze der Refraction liefsen sich dann genau durch Attraction der Körper gegen die Lichttheilchen erklären; die Reflexion der Strahlen, wenn sie aus dem Glase allzuschief geneigt ausfahren sollten, lasse sich doch nicht aus einem Widerstande des leeren Raumes, dagegen sehr gut durch eine Attraction, welche den Strahl nöthige, in das Innere des Glases zurückzukehren, erklären. Um die Verschiedenheit der Farben zu erklären und die ungleichen Grade der Brechbarkeit zu erhalten, habe man dann nichts anderes nöthig, als den Lichttheilchen eine verschiedene Gröfse beizulegen; die welche am kleinsten sind, würden den violetten Strahl, der auch der dunkelste und matteste ist, hervorbringen und am leichtesten und stärksten von

1 Optice, auct. Newton. quaest. 8.

ihrem Wege abgelenkt werden; die übrigen, je nachdem sie aus gröfseren Theilchen bestehen, brächten die allmälig stärkeren und lebhafteren Farben hervor, die schwerer von ihrem Wege abgelenkt werden. Um die Anwandlungen der leichtern Zurückwerfung und des leichtern Durchganges zu erklären, habe man nur nöthig anzunehmen, dafs jene kleinen Lichttheilchen in den Körpern, auf welche sie einwirken, Vibrationen hervorbringen, welche vermöge einer die Schnelligkeit der Strahlen übertreffenden Schnelligkeit so auf sie wirken, dafs sie ihre Geschwindigkeit abwechselnd vermehren und vermindern, und daher jene Wechsel oder Anwandlungen erregen. Die eigenthümliche Brechung der doppelt brechenden Körper scheine aus einer anziehenden Kraft zu entstehn, welche den Seiten der Lichttheilchen und der Krystalltheilchen eigen sey.

Dieser Ansicht, dafs der Lichtstrahl aus wirklichen schnell forteilenden Theilchen bestehe, hat man vorzüglich entgegengesetzt, dafs die von den immer leuchtenden Körpern ausgehenden Lichttheilchen endlich eine Verminderung der Masse zur Folge haben müfsten, die doch bei der Sonne nicht statt finde; dafs die nach allen möglichen Richtungen fortgehenden und sich durchkreuzenden Lichtstrahlen nicht ohne ein Aneinandertreffen der Theilchen denkbar sey, diese gegenseitigen Stöfse der Lichttheilchen aber den geraden Lauf der Strahlen verändern müsse; dafs der Durchgang durch transparente Körper nicht zu erklären sey, da diese überall dem Lichte einen offenen Durchgang zu gestatten scheinen; dafs die Weltkörper eben so gut durch diese Lichttheilchen, mit denen der ganze Weltraum erfüllt sey, müfsten aufgehalten werden, als durch einen Aether, dessen Existenz Newton deswegen leugnet, weil kein Widerstand in der Bewegung der Planeten merklich sey, u. s. w.

Es ist wohl nicht zu verkennen, dafs diese Einwürfe nicht gerade so leicht wegzuräumen sind; indefs treffen sie fast alle auch mit gleicher Gewichtigkeit die entgegengesetzte Theorie, obgleich man sie da in etwas veränderter Form aussprechen mufs. Soviel erhellt immer, man mag die Emissions- oder die Vibrationstheorie annehmen, dafs das Licht sich nach Gesetzen bewegt und die Erscheinungen, die wir wahrnehmen, nach Gesetzen bewirkt, bei welchen unsre von geworfnen Kugeln in Beziehung auf die eine, und von Wasserwellen in Beziehung

auf die andre Theorie, hergenommenen Vergleichungen als viel zu roh erscheinen.

Was die Erklärung der Erscheinungen betrifft, so kann ich bis jetzt mich nicht von der Ueberzeugung losreifsen, dafs diese bei der Emissionstheorie leichter ist; denn da die Mechanik der Wellen so höchst schwierig ist, so scheint diese mir noch nicht geeignet, uns über alle Phänomene des Lichtes Aufschlufs zu geben. Es ist wahr, dafs einige Erscheinungen z. B. die der Inflexion des Lichts der Emissionstheorie Schwierigkeiten entgegenstellen, und ich bin weit davon entfernt, diese verhehlen zu wollen; aber während wir diese Unvollkommenheit anerkennen, scheint es doch, dafs wir die einfachen und leichten Darstellungen, welche diese Theorie sonst gewährt, nicht eher aufgeben dürfen, bis sich ein noch mehr entscheidendes Uebergewicht auf der andern Seite zeigt. Alle unsere Hypothesen haben ja nur den Zweck, die Phänomene unter eine leichte Uebersicht zu bringen, die Phänomene selbst nach Zahl und Mafs zu bestimmen, und soviel möglich, die Erfolge in noch unerforschten Fällen vorauszusagen; — dieses leistet die Newton'sche Theorie in hohem Grade. — Die Wahrheit selbst aber liegt aufser dem Gebiete dessen, was menschliche Forschungen erreichen können[1]! *B.*

Entfernung

wahre; Abstand; *Distantia;* Distance; *Distance.*
Die *wahre Entfernung* zweier Puncte von einander ist die *zwischen ihm gezogene gerade Linie; Abstand eines Punctes von einer geraden Linie ist die Länge des von dem Puncte auf die Linie gefällten Perpendikels; Abstand eines Punctes von einer Ebene ist die Länge des von dem Puncte auf die Ebene gefällten Perpendikels.*

Wenn man von der Entfernung zweier Körper von einander redet, so bedarf es eigentlich erst einer genaueren Bestimmung, welche Puncte man betrachten will; bei den Weltkörpern versteht man immer die Entfernung der Mittelpuncte von einander, wenn keine weitere Bestimmung beigefügt wird.

---

1 Ausführlichere Untersuchungen hierüber s. Art. *Licht.* Vergl. *Durchsichtigkeit.*

Unter *Entfernung zweier auf einer Kugeloberfläche liegender Puncte*, versteht man die *Länge des zwischen ihnen gezognen Bogens eines gröſsten Kreises.* Da die Erde keine genaue Kugel ist, so ist im strengen Sinne die Linie, welche die Entfernung zweier Puncte auf der Oberfläche miſst, nicht mehr ein gröſster Kreis, sondern muſs mit mehr Schwierigkeit gefunden werden. Diese kürzeste Linie auf der sphäroidischen Erde heiſst die *geodätische Linie;* wie man sie findet, lehrt unter andern Littrow [1]. *B.*

Entfernung

scheinbare; *Distantia apparens*; Distance apparente; *apparent Distance*; ist der Winkel, welcher in unserm Auge entsteht, wenn von den zwei Puncten, deren scheinbarer Abstand von einander bestimmt werden soll, gerade Linien bis zu unserm Auge gezogen werden. Auf diese Weise reden wir von dem scheinbaren Abstande zweier Sterne von einander u. s. w.; daſs durch diese *scheinbare* Entfernung der Gegenstände von einander ihre *wahre* Entfernung von einander gar nicht bestimmt wird, erhellet von selbst, indem zwei von unserm Auge aus fast nach derselben Richtung liegende Gegenstände doch ungemein weit von einander entfernt seyn können. Eben so wenig liegt in dieser Bestimmung der scheinbaren Entfernung ein Mittel, die wahre Entfernung derselben von uns selbst zu bestimmen, wenn nicht noch andere gegebene Stücke hinzu kommen.

Die Untersuchung, wiefern unser Urtheil bestimmt wird, wenn wir aus Umständen, die die *erscheinende* Entfernung eines Gegenstandes zu bestimmen scheinen, seine wahre Entfernung glauben angeben zu können, gehört unter die Betrachtung über Gesichtstäuschungen [2]. *B.*

Epakten.

Epactae; Epactes; *Epacts*; (ἐπακτός, hinzugekommen, also hier die hinzukommenden Tage) heiſsen in der Chronologie diejenigen Zahlen, welche für ein jedes Jahr das Alter des Mondes

1 S. Astronomie. I. 278.

2 S. *Gesicht.*

am Neujahrstage angeben, oder anzeigen, um wie viel Tage der letzte Neumond des vorigen Jahres dem Anfange des Jahres vorausgegangen ist. Der letzte Neumond im Jahre 1825 fällt auf den 9. Dec. also 22 volle Tage vor Anfang des Jahres, daher ist 22 die Epakte des Jahres 1826. Fällt der Neumond auf den Neujahrstag selbst, so ist die Epacte=0. Eigentlich zeigt die Epakte also an, wie viele Tage das Mondesalter am 31. Dec. betrug, und der Neujahrstag ist zum Beispiel schon der 23ste Tag nach dem Neumonde, wenn die Epakte 22 ist.

Da das Mondenjahr nur wenig über 354¼ Tage, also 11 Tage weniger, beträgt, als das Sonnenjahr, so nimmt die Epakte jährlich um 11 zu. Sie war z. B. für 1825, 11 oder der Neujahrstag selbst war der 12te nach dem Neumonde. Dieses giebt ein leichtes Mittel, die Epakte für jedes Jahr zu finden. Mit der güldenen Zahl 1 nämlich gehört die Epakte 0 (die man auch wohl * bezeichnet und die an die Stelle des vollen Monats oder der 30 tritt) zusammen; also mit der güldnen Zahl 2, die Epakte 11, mit der güldnen Zahl 3, die Epakte 22, mit der güldnen Zahl 4, die Epakte 3, weil der volle Monat oder Mondsumlauf einmal weggelassen wird. So erhält man folgendes Täfelchen für alle 19 Jahre des Mondscirkels[1].

Zahl der Jahre	Epakte	Zahl der Jahre	Epakte
1.	0.	11.	XX.
2.	XI.	12.	I.
3.	XXII.	13.	XII.
4.	III.	14.	XXIII.
5.	XIV.	15.	IV.
6.	XXV.	16.	XV.
7.	VI.	17.	XXVI.
8.	XVII.	18.	VII.
9.	XXVIII.	19.	XVIII.
10.	IX.	20.	0.

Der letzte Uebergang vom 19ten zum 20ten Jahre, welches wieder das erste Jahr eines neunzehnjährigen Cyclus ist, beträgt 12, und heifst der Sprung der Epakte. Man rechnet nämlich hier nach dem *Metonschen Cyclus*, welchem zufolge 235 Mondwechsel gleich 19 Sonnenjahren sind. Da nun 19 unserer Jahre

1 S. Art. *Cykel.*

$19 \times 365 + 4$ Tage, die letzten nämlich als Schalttage, enthalten, die 235 Mondwechsel aber aus $19\frac{7}{12}$ Mondenjahren bestehen, welche 19×354 und 7×30 Tage, aber wegen der Schaltjahre noch 4 Tage mehr, also $19 \times 354 + 7 \times 30 + 4 = 6940$ Tage enthalten, so muſs am Schlusse des Cyclus ein Tag zugegeben werden. Mit andern Worten, in 19 Jahren rückt der Neumond durch 11×19 oder 209 Tage fort; da man nun allemal, wenn 30 Tage voll waren, diese weggelassen hat, so würde man, wenn auch zum siebenten Male 30 ausfielen, diese Fortrückung auf 210 Tage setzen, bei dem letzten Uebergange von 18 auf 29, wird also mit Recht der Monat schon als vollendet angesehen, und mit 0 wieder angefangen.

Die eben mitgetheilte Tabelle giebt die Epakten für das jetzt laufende Jahrhundert für jeden bekannten Werth der güldnen Zahl richtig an. Da aber 19 Sonnenjahre nicht genau mit 235 Mondenmonaten übereinstimmen, sondern jene fast um 1½ Stunden länger sind, so beträgt das nach 16 Mondcirkeln, oder genauer nach 312 Tagen, einen Tag, und im Julianischen Kalender muſs die Epakte fortgerückt werden. So ist z. B. in unsrer Zeit im Julianischen Kalender die Epakte XII mit der güldenen Zahl I verbunden, und dieses dauert von 1798 bis 2110, wo die mit der güldenen Zahl = 1 verbundene Epakte in XIII übergeht. Im Gregorischen Kalender wird dieser Unterschied zum Theil durch die wegbleibende Einschaltung ausgeglichen.

Man pflegt in den Gregorischen Kalendern die Zahlen von XXX bis I in rückwärts gehender Ordnung neben die Tage der Monate zu schreiben, so daſs der erste Januar XXX oder *, der zweite XXIX, der dritte XXVIII und so fort, der 31. Januar *, der 1. Febr. XXIX und so ferner neben sich erhält. Wäre nun die Zwischenzeit zwischen zwei Neumonden 30 Tage, so würde die Epakte jedes Jahres bei den Tagen seiner Neumonde stehen, z. B. 1825 war die Epakte XI, und in dem eben beschriebenen Kalender haben 20. Januar, 19. Februar, 21. März die Zahl XI neben sich und diese Tage würden bei jener Voraussetzung die Neumondstage geben. Aber die Voraussetzung ist unrichtig, indem der Mondsmonat nur 29½ Tage beträgt, weshalb man abwechselnd dem ersten Mondwechsel 30, dem zweiten 29 Tage beilegt, u. s. w. Wenn man also die Zahlen beim ersten Monate von XXX, beim zweiten von XXIX anfangen läſst, so hat man am 1. Januar XXX, am 30. Januar I, am 28. Febr. I; am

30. März I, am 26. April I, am 26. Mai I, und so ferner, und nun steht die Epakte des Jahres neben den Neumondstagen. Indeſs ist zu bemerken, daſs diese nach der Epakte berechneten Neumonde, da sie nur nach ganzen Tagen berechnet sind, nicht genau mit dem astronomischen Neumonde zusammentreffen, und also nur als ein oberflächliches Hülfsmittel zur Bestimmung der Mondserscheinungen gelten können.

Die ganze Anordnung dieser Epakten hatte nur den Zweck, das jedesmalige Osterfest leichter berechnen zu können, weshalb auch diese, von der astronomischen Rechnung etwas abweichenden, Epakten die *kirchlichen Epakten* heiſsen; jetzt, da das Osterfest sich nach der astronomischen Bestimmung des Vollmondes richtet, hat die ganze Lehre von den Epakten nur einen sehr untergeordneten Werth. Manches dahin Gehörige, nebst den nöthigen Tabellen, enthält Kornick's System der Zeitrechnung. 1825. *B.*

Ephemeriden.

Astronomische Jahrbücher; *Ephemerides astronomicae*; Éphémerides; *Ephemeris*; sind diejenigen Bücher, in welchen der Ort der Himmelskörper für jeden Tag eines bestimmten Jahres angegeben wird, und die Erscheinungen, welche sie darbieten, voraus bekannt gemacht werden. Sie werden aus den Tafeln, welche die wahre Bewegung der Himmelskörper im Allgemeinen angeben, für die bestimmten Zeitpuncte berechnet, und dienen, um auf die Erscheinungen, die beobachtet zu werden verdienen, im Voraus aufmerksam zu machen.

Etwas diesen astronomischen Kalendern Aehnliches scheinen schon die Alten gehabt zu haben, indem man sieht, daſs sie von bevorstehenden Finsternissen u. dgl. unterrichtet waren: man weiſs auch, daſs Democritus ein Buch, Parapegmata betitelt, geschrieben hat[1], welches solche astronomische Vorausbestimmungen enthielt. Im Manuscript sollen noch Ephemeriden des Rabbiners Salomon Jarchus für das Jahr 1150 vorhanden seyn[2]. Purbach gab für die Jahre 1450 bis 1461 solche

1 Vitruvii L. IX. C. 7.

2 De Zach corresp. astron. VII. 22.

Ephemeriden heraus; aber weit vollständiger und genauer waren die, welche REGIOMONTANUS im Jahre 1474 zuerst heraus gab, und von diesen bemerkt WEIDLER[1]: opus hoc a litteratis tanto applausu susceptum est, ut singula exempla duodecim aureis venderentur, Hungaris, Italis, Gallis, Britannis certatim coëmentibus. Nachher haben STÖFLER, LEOVITIUS, ORIGANUS, KEPLER Ephemeriden herausgegeben, und später MANFREDI's Ephemerides coelestium motuum von 1715 an, welche ZANOTTI von 1750 an fortsetzte, sich viel Beifall erworben.

Unter den noch jetzt jährlich herauskommenden astronomischen Kalendern haben die *Connaissance des tems*, am frühesten angefangen. PICARD gab sie von 1679 an heraus, und sie sind nachher unausgesetzt herausgegeben worden. In den neuesten Zeiten sind den Berechnern der Connaissance des tems manche einzelne Nachlässigkeiten vorgeworfen worden[2].

Die von HELL 1757 angefangenen *Ephemerides astronomicae* ad meridianum Viennensem dauern noch fort.

Der *Nautical Almanac* and astronomical Ephemeris ist seit 1767, anfangs unter MASKELYNE's Aufsicht, ununterbrochen herausgekommen. Auch ihm wurden in neuern Zeiten Nachlässigkeiten vorgeworfen, aber die englische Admiralität hat, bewogen durch die Verlegenheiten und Gefahren, denen Seefahrende durch eine unrichtige Ephemeride ausgesetzt sind, für eine zuverlässige sorgfältigere Revision gesorgt.

Das *astronomische Jahrbuch*, welches in wenig veränderter Form seit 1776 in Berlin herauskommt, hat unter BODE's funfzigjähriger Leitung sich immer als mit Sorgfalt berechnet gezeigt, und ist, so wie manche der Vorigen durch die Sammlung astronomischer Abhandlungen ein Buch von bleibendem Werthe.

Auch die Mailändischen *Effemeridi astronomiche* gehören noch immer zu den sehr geachteten astronomischen Ephemeriden. *B.*

---

1 Histor. Astron. XII. 13.

2 Von Zach hat dieses öfter in der Corresp. astron. gethan z. B. daselbst XIII. 7.

Epicykel.

Epicyclus; Épicycle; *Epicycle.* Die ältern Astronomen, welche die Erde als ruhend ansahen, bemerkten, daſs die Bewegungen der Himmelskörper nicht durch ein Fortrücken auf einer einfachen, ungefähr kreisförmigen, Bahn erklärt werden könnten; sie nahmen daher eine Bewegung auf einem Kreise, dessen Mittelpunct selbst einen Kreis durchlief, an, und nannten nun den Kreis, dessen Mittelpunct fortrückte, den *Epicykel*, statt daſs der andere Kreis, auf welchem der Mittelpunct des Epicykels sich bewegte, *circulus deferens* hieſs. Sobald man nämlich der Erde keine Bewegung beilegte, konnte die bald rückgängige, bald rechtläufige Bewegung der Planeten und die, besonders beim Mars auffallende, Ungleichheit ihres Abstandes von der Erde nicht durch ein Fortgehen auf einer einfachen Bahn erklärt werden, die Epicykel aber stellten dieses alles ganz gut dar. Ich will dieses an der Bewegung des *Mars* zeigen, der in ungefähr 23 Monaten einen Umlauf macht, und also nach jener Ansicht seinen Epicykel in einem Jahre durchläuft, während des Epicykels Mittelpunct in 23 Monaten auf dem Circulus deferens seinen Umlauf vollendet. Die Vergleichung der beiden Figuren, die ich hier mit gleichen Buchstaben bezeichnet liefere, wird leicht übersehen lassen, daſs in der einen, die dem wahren Weltsysteme gemäſs gezeichnet ist, die Abstände des Planeten in jedem Zeitpuncte von der Erde eben so groſs sind, und daſs die Richtungslinien nach dem Planeten hin eben die Lage haben, wie in der andern, wo die Darstellung dem Ptolemäischen Systeme gemäſs ist. Da Mars etwa 23 Monate zu seinem Umlaufe gebraucht und die Erde 12 Monate, so ist, in der wahren Ordnung der Planetenbewegungen, wenn die Erde zuerst sich in 0′ befand, als Mars in 0 war, jene in zwei Monaten nach 1′, dieser nach 1 gekommen, folglich ist 1′ 1 der wahre Abstand beider Körper von einander und die Richtung der Linie 1′ 1 gegen 1′ 0, welche letztere mit 0′ 0 parallel ist, zeigt das scheinbare Fortrücken des Mars, so wie es der Erdbewohner beurtheilt. Wäre dagegen die Erde ruhend in E geblieben, während sich im ersten Zeitpuncte der Mittelpunct des Epicykels in a, Mars aber auf dem Epicykel in 0, befand, und während jener nach b, dieser auf dem Epicykel von 0′ nach 1 fortging: so würde nach 2 Monaten Mars in 1 stehen und dem Erdbewohner

Fig. 167.

Fig. 168.

um eben den kleinen Winkel 1 E 0, wie in der ersten Figur um 1 1′ 0 fortgerückt erscheinen und E 1 wäre = 1′ 1. Die epicyklische Bewegung giebt also den relativen Ort des Mars nach Verlauf von 2 Monaten richtig an, wenn man den Mittelpunct des Epicykels so weit fortrücken läſst, als es der wahren Bewegung des Mars auf seiner Bahn gemäſs ist, und wenn man den Planeten auf dem Epicykel von einem mit a o parallel gezogenen Radius an so weit fortrücken läſst, als es der wahren Bewegung der Erde in ihrer Bahn gemäſs ist.

Für die folgenden Zeitpuncte läſst sich eben so urtheilen. Nach der wahren Ordnung der Planetenbewegungen ist nach 4 Monaten die Erde nach 2′, Mars nach 2 gekommen und 2′2 giebt die wahre Entfernung beider Körper von einander an, zöge man aber durch 2′ eine Linie mit 0′0 parallel, so würde der Winkel, den diese mit 2′2 macht, die scheinbare Fortrückung des Mars während der 4 Monate angeben. Eben so sind 3′, 3, die Stellungen beider Körper nach 6 Monaten; 4′, 4, die Stellungen nach 8 Monaten, und so lieſse sich leicht weiter zeichnen. Dagegen in der epicyklischen Zeichnung würde man sagen, 4 Monate nach dem ersten Zeitpuncte sey der Mittelpunct des Epicykels nach c gelangt, so daſs der Epicykel selbst, wenn wir ihn als im Weltraume gezeichnet denken, nun die Stellung 0″2 hätte; auf ihm ist der Planet nach 2 gelangt, weil er in 4 Monaten auf dem Epicykel von 0″ an 120 Grade durchlaufen hat; der Planet steht also nach diesem Systeme in 2 und die Erde in E, und da die Linie E 2 eben so lang, als die wahre Distanz 2′ 2 in der ersten Figur ist, und auch die scheinbare Fortrückung, nämlich der Winkel 2 E a eben so groſs als bei der dem wahren Weltsysteme gemäſsen Zeichnung, so geben die Erscheinungen nicht so unmittelbar einen Grund, die Epicykeln zu verwerfen.

Für den vierten Zeitpunct, nach 6 Monaten, nimmt die epicyklische Zeichnung den Mittelpunct des Epicykels in d an, weil aber in 6 Monaten der Planet den halben Epicykel durchläuft, so ist er auf dem Epicykel 0‴ h h 3, nach 3 gelangt, und E 3 stellt seinen Abstand von der Erde und seine scheinbare Lage richtig dar. Im fünften Zeitpunct nach 8 Monaten versetzen wir des Epicykels Mittelpunct nach e, den ganzen Epicykel nach 0⁗ k k 4, und von e o⁗, welche mit a o parallel ist, an, hat

der Planet 240 Grade bis nach 4 durchlaufen, so das E4 seine Stellung gegen die Erde E zeigt.

Aus diesen Betrachtungen erhellet, dafs diese epicyklische Theorie die Erscheinungen darstellt; und so lange man also die Ruhe der Erde als etwas, woran nicht gezweifelt werden könne, annahm, war es begreiflich, dafs man diese Theorie als die richtige ansehen konnte. Für uns freilich, die wir nach den Kräften fragen, welche jenen leeren Mittelpunct um die Erde herumführen, und nach den Kräften, welche jener leere Mittelpunct besitzt, um den Körper auf dem Epicykel zu erhalten, für uns kann ein solches System durchaus nicht mehr haltbar erscheinen. Ja selbst Copernicus, der nach diesen Kräften noch nicht fragte, sah sehr richtig ein, dafs man nur das einzige, durch gar nichts begründete Vorurtheil, dafs die Erde unbeweglich sey, aufzugeben brauche, um ein unstreitig viel einfacheres Weltsystem, wo alle Planetenbewegungen die Sonne zum Mittelpuncte haben, zu erhalten[1]. *B.*

Epoche.

Epocha; Époque; *Epoch*. Dieses Wort wird in der *Astronomie* seiner eigentlichen Bedeutung ganz gemäfs, (ἐποχή, das Anhalten, die Hemmung) als Anfangspunct oder Haltpunct der Bewegung für einen bestimmten Zeitpunct gebraucht. Die Epoche der mittlern Länge der Sonne für die Pariser Mitternacht des 31. Decbr. 1800 war zum Beispiel 9 Zeichen 10°. 9′. 13″. und man kann also von diesem Anfangspuncte an, wenn man die tägliche mittlere Bewegung der Sonne kennt, für jeden Zeitpunct die mittlere Länge bestimmen. Diese Epoche des mittlern Ortes eines Planeten in seiner Bahn gehört daher zu den Elementen der Planetenbahn, die man kennen mufs, um die Bewegung und den Ort desselben vollständig berechnen zu können. In den Tafeln wird der mittlere Ort für den Anfang jedes Jahres angegeben, und dann die mittlere Bewegung für Tage, Stunden u. s. w. gehörig hinzugefügt.

In der *Chronologie* heifst Epoche der Zeitpunct, wo eine Periode anfängt, daher sagt man: Eine Epoche machende Begebenheit. Um die historischen Epochen mit einer allgemeinen

---

1 Vergl. Art. *Weltsystem*.

Zeitrechnung zu verbinden, schliefst man sie an die Julianische Periode[1] an, in deren 3961stes Jahr die Erbauung Roms fällt, in das 4714te Jahr fällt der Anfang unserer Zeitrechnung, (oder wie man annimmt, die Geburt Christi) in das 5335te die Flucht Mahomeds, u. s. w. *B.*

Erdbeben.

Erderschütterung; *Terrae motus;* Tremblement de terre; *Earthquake.*

Es ist fast mehr als wahrscheinlich, dafs alle Erdbeben eine Folge vulcanischer Operationen in der Tiefe der Erdrinde sind, und daher mit den Ausbrüchen der feuerspeienden Berge im innigsten Zusammenhange stehen. Man könnte also die ganze Untersuchung derselben dorthin verweisen, wenn anders beide Erscheinungen ohne Ausnahme mit einander verbunden wären. Indem dieses aber nicht der Fall ist, und über die Ursachen der Erdbeben noch so viele Ungewifsheit obwaltet, so kann die Sache selbst hier füglich erwähnt werden, die genauere Erörterung der Frage über ihre Ursachen aber wird am zweckmäfsigsten mit der Betrachtung der vulcanischen Erscheinungen verbunden.

1. Die Erdbeben, wenn man die stärkeren sowohl als auch die geringeren Bebungen der Erdoberfläche an einzelnen Stellen mitzählt, sind ganz allgemein verbreitet, und man darf mit Gewifsheit von keiner Gegend behaupten, dafs sie dagegen vollkommen gesichert sey. Weder Sandboden noch fruchtbares Erdreich, weder Berge, primitive oder secundäre, noch auch weite Ebenen, selbst sumpfige und wenig über den Meeresspiegel erhabene Gegenden gewähren einen absoluten Schutz gegen diese zerstörenden Erscheinungen, auch ereignen sie sich eben so gut in kalten als in heifsen und gemäfsigten Erdstrichen. Inzwischen sind sie weit häufiger in der Nähe der feuerspeienden Berge und somit auch der Meeresküsten, und gehören in einigen ihnen vorzüglich ausgesetzten Gegenden eben so sehr zu den gewöhnlichen Erscheinungen, als in andern ganz eigentlich zu den Seltenheiten. Syrien, die Asiatischen Küsten und Inseln, America und die Europäischen Küstenländer am Mittelländischen Meere nebst Island sind ihnen vorzüglich unterworfen, am we-

1 Vergl. *Cyklus.*

nigsten dagegen die Ebenen Africa's, Asiens und des nordöstlichen Europa's.

2. Wenn man die ganze Erde berücksichtigt, so ist die Zahl der Erdbeben, jede kleine Erschütterung mitgezählt, ausnehmend grofs, und man darf mit Dreistigkeit behaupten, dafs keine Woche, vielleicht kein Tag vergeht, an welchem nicht an irgend einem Orte der Erdoberfläche eine gröfsere oder geringere Bebung statt findet. Zu diesem Schlusse berechtigt die grofse Menge der in den cultivirten Gegenden beobachteten und die Erfahrung, dafs manche Districte fast unaufhörlich solchen Erschütterungen ausgesetzt sind. Indefs ist ihre Wiederkehr sowohl an den mehr als auch den weniger von ihnen heimgesuchten Orten durchaus keiner regelmäfsigen Periode unterworfen, indem sie oft längere, oft kürzere Zwischenzeiten hindurch ausbleiben, und dann in gröfserer oder geringerer Zahl, mehr oder minder häufig und verheerend sich einstellen. Ihr Erscheinen steht daher weder mit kosmischen, noch planetarischen Gesetzen in Verbindung, ist weder an bestimmte Jahreszeiten, noch an die Stellung des Mondes gebunden, und kann eben so gut bei Tage als bei Nacht statt finden. Hiervon überzeugt man sich bald durch einige interessante Zusammenstellungen der in gewissen Jahren oder in längeren Perioden bekannt gewordenen Erdbeben, woraus allerdings zu folgen scheint, dafs sie in einigen Jahren ungleich zahlreicher sind, als in andern, wenn anders nicht solche Jahre vorzüglich reich an denselben zu seyn scheinen, in denen gerade die cultivirteren Länder von ihnen vorzugsweise heimgesucht wurden, weswegen sie dann weniger unbeachtet blieben. Aus ihrem Zusammenhange mit den Vulcanen folgt nämlich, dafs sie in unbestimmten Perioden gewisse Länderzüge vorzugsweise heimsuchen. Solche interessante Zusammenstellungen sind unter andern das durch Cotte[1] mitgetheilte Verzeichnifs von 300 Erdbeben, welche seit 1740 bis 1806 in den bekannteren Theilen der Erde beobachtet wurden, die Aufzählung von 23 der Geschichte überlieferten Erderschütterungen blofs in der Schweiz von 563 bis

---

1 Journ. de Ph. LXV. 159. Eine chronologische Uebersicht der Erdbeben von 2312 v. Ch. G. bis 1760 n. Ch. G. findet man in Mém. de l'Acad. Étrang. IV. 488. Vergl. Histoire des anciennes revolutions du Globe terrestre. Par. 1753. 8.

1817 durch DE LUC[1] u. a. m.[2]. Diese Zahlen stehen indeſs in gar keinem Verhältniſs mit der Menge von Erscheinungen dieser Art, welche von einigen Gelehrten ohne eine absichtlich genaue Forschung aus den gangbarsten Zeitschriften für einzelne Jahre gesammelt sind. Als Beispiel der Menge derer, welche aus nur wenigen Ländern auf diese Weise bekannt wurden, mag folgendes Verzeichniſs von CASSINI dienen[3]. Es waren nämlich Erdbeben im Jahre 1778 den 18ten Jan. zu Hermanstadt in Siebenbürgen, verderblich für mehrere Districte der Moldau und Wallachei, wobei der einstürzende Kirchthurm 119 Menschen erschlug; den 19ten Jan. in Livorno und Tripolis; den 18ten Febr. im Districte von Lunegiana; den 2ten Apr. in der Gegend von Manheim; den 20sten Apr. zu Palma; den 30sten zu Guastalla; den 5ten Mai zu Aleppo, den 7ten Juni zu Pau; den 16ten Juni und wiederholt am 2ten Juli zu Smyrna, wobei eine Moschee einstürzte, und eine bedeutende Menge Einwohner unter den Ruinen der Privathäuser begraben wurde. Auch am 19ten, 21sten, 22sten und 23sten desselben Monats verspürte man daselbst minder heftige Erdstöſse. Es waren ferner Erdbeben am 7ten Juli und 4ten Aug. in Granada, am 12ten Aug. aber in Forti, Romagna und Toscana. Am 1sten Oct. kehrte das Erdbeben wieder in Smyrna und mit noch gröſserer Heftigkeit am 12ten, 24sten und 30sten desselben Monats, wie auch am 1sten, 3ten, 4ten, 5ten, 7ten und 16ten November. Den 7ten Nov. war ein heftiger Erdstoſs zu Alicante; den 8ten zu Warasdin; den 12ten und an den folgenden Tagen zu Granada; den 16ten zu Triest; den 18ten Nov. desgleichen den 10ten, 13ten und 19ten Dec. zu Kaschau in Ungarn; am nämlichen Tage zu Homenau, Wranow, Tavarna und Tockay. Am 31sten Dec. endlich zu Passais bei Domfort.

So zahlreich die hier mitgetheilten Fälle auch sind, so ergiebt die Uebersicht derselben doch bald, daſs sie sich nur über einen kleinen Strich des südlichen Europa's und einen geringen Theil von Asien erstreckten, wobei man es nicht anders als wahrscheinlich finden kann, daſs nicht alle in dem angegebenen Länderzuge statt gefundenen, auch unbedeutendere, Er-

---

1 Bibl. univ. XVIII. 43.

2 Vergl. Bertrand Mém. sur les tremblements de terre. 1766. 4.

3 Mém. de l'Inst. IV. 549.

schütterungen aufgezeichnet seyn mögen, und gewifs nicht in Abrede stellen wird, dafs zu der nämlichen Zeit in andern Ländern sicher noch viele andere Erdbeben statt gefunden haben. Eben dieses gilt von der Zusammenstellung der gleich zahlreichen Erdbeben, welche in den Jahren 1821 und 22 bekannt wurden[1], so dafs hierdurch die oben aufgestellte Behauptung gewifs genugsam gerechtfertigt erscheinen wird. Aus dem Zusammenhange der Erdbeben mit den Vulcanen folgt aber nicht minder, dafs sie in vulcanischen Gegenden nicht blofs heftiger, sondern auch ungleich zahlreicher seyn müssen als in solchen, welche weit von diesen entfernt liegen, obgleich sie sich auch bis zu diesen letzteren erstrecken. Belege hierzu geben Island, Italien, der Asiatische Archipelagus und America.

3. Die Vorzeichen der Erdbeben könnten theils lange Zeit, theils unmittelbar vorhergehende seyn. Kries[2] verwirft alle Vorzeichen derselben, und hat hierin vollkommen Recht, sobald von solchen die Rede ist, aus denen man eine längere Zeit vorher ein bevorstehendes Erdbeben mit einigem Grade der Wahrscheinlichkeit ahnden oder muthmafsen könnte. Ein Beweis dieser Behauptung ist ganz überflüssig, sobald man nur berücksichtigt, dafs nach allen historischen Thatsachen die Wirkungen derselben so verheerend sind, weil sie ganz unvermuthet einbrechen und ohne irgend eine Vorkehrung zur Sicherung dagegen zu verstatten. Rücksichtlich der nahe vorhergehenden Vorzeichen ist die Entscheidung schwer, indem es fraglich bleibt, ob diejenigen, welche man als solche anzugeben pflegt, nicht zu den Erscheinungen der Erdbeben selbst oder als mit ihnen verbunden zu betrachten sind. Weil aber zu den Erdbeben, strenge genommen, nur die eigentlichen Erschütterungen, Hebungen und Schwankungen des Bodens und der nahe liegenden Meere gehören, so lassen sich folgende Erscheinungen allerdings als unmittelbar vorhergehend oder sie begleitend ansehen.

1. Wegen des innigen Zusammenhanges zwischen den Erdbeben und den vulcanischen Kräften hören oft die Vulcane derjenigen Gegenden auf zu rauchen oder überhaupt thätig zu seyn,

1 Ann. de Chim. et Ph. XVIII. 418. XXI. 398. Vergl. Ebend. XXX. 411.

2 Von den Ursachen der Erdbeben von Fr. Kries u. s. w. Utrecht 1820. 8.

in deren auch weithin sich erstreckenden Gebieten Erderschütterungen eintreffen. So hörte v. Humboldt, daſs die Rauchsäule aus dem Vulcane bei Pasto zur nämlichen Zeit aufzusteigen aufhörte, als im Jahre 1797 die Städte Riobamba, Hambato und Tacunga erschüttert wurden[1], auch fürchtet man in Neapel und Messina die Erdbeben am meisten, wenn die benachbarten Vulcane zu rauchen aufhören[2].

2. Die Brunnen und Quellen der Gegenden, denen die Erschütterungen bevorstehen, zeigen oft schon mehrere Tage vorher auffallende Veränderungen. Namentlich sinkt das Wasser in den Brunnen, so daſs die Seile verlängert werden müssen, eine dem Einziehen des Rauches in die vulcanischen Crater correspondirende Erscheinung. So sank das Wasser in der Darse[3] vor dem Erdbeben von Catanea im Jahre 1818, und in Neapel ereignete es sich oft, daſs die Eimer der Brunnen vor den Erderschütterungen das Wasser nicht mehr erreichten, eine Erscheinung, welche indeſs als Folge groſser Dürre auch täuschend seyn kann. Zuweilen wird das Wasser der Brunnen brakisch und trübe, wie gleichfalls von dem Erdbeben in Catanea beobachtet wurde[4], wobei sich zugleich 14 Springbrunnen heiſsen Wassers einige Minuten vor dem ersten Stoſse in den Ritzen der alten Lava des Aetna bildeten, aus denen noch einige Tage nachher heiſser Dampf strömte, wie denn auch schon vorher an verschiedenen Orten Wasser aus den Rissen der alten Lava drang.

3. Den Erdbeben vorausgehend, mehr aber sie begleitend ist die Erscheinung, daſs Flammen aus der Erde schlagen und in der Dunkelheit der Nacht ein gewisser leuchtender Schein die Gegend erhellet. Solche Flammen zeigen sich, den bisherigen Beobachtungen nach, indeſs bloſs in eigentlich vulcanischen Gegenden, steigen aber auch aus dem Meere auf, und sind nur Vorboten oder Begleiter heftiger Erderschütterungen. Man bemerkte dieselben aus den alten Lavaschichten des Aetna hervorbrechen, als 1818 Catanea verwüstet wurde[5], noch mehr sah

1 Voyage aux Terres équinox. cet. I. 317.

2 v. Hoff Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche II. 74.

3 S. Agatino Longo in Bibl. Ital. 1818. Sept. Bibl. univ. 1818. Nov.

4 Agatino Longo a. a. O.

5 S. Agatino Longo a. a. O.

man solche Flammen aufblitzen bei dem furchtbaren Erdbeben, welches 1822 Syrien verheerte, und den Nachrichten gemäfs soll des Nachts eine Erhellung, wie vom Lichte des Vollmonds, statt gefunden haben [1]. Am bestimmtesten ist die Sache bewahrheitet durch die genaue Beobachtung, dafs beim Erdbeben in Zante 1820 etwa 3 bis 4 Minuten vor dem ersten Stofse am Vorgebirge Geraca ein über dem Wasser schwebendes feuriges Meteor 5 bis 6 Minuten lang brennend gesehen wurde [2]. Uebrigens hängt diese Sache ohne Zweifel oder mindestens muthmafslich damit zusammen, dafs bei Erdbeben die benachbarten Vulcane zuweilen einige Secunden hindurch Flammen ausspeien und die umliegende Gegend erhellen, wie dieses namentlich 1822 bei der Zerstörung von Valparaiso der Fall war, indem gleichzeitig zu Valdivia unter 39° 59′ S. B. nur ein leichter Erdstofs verspürt, und zugleich eine Erhellung der ganzen Gegend durch die Flammen der benachbarten Vulcane wahrgenommen wurde [3].

4. Als den Erschütterungen unmittelbar vorangehend, noch eigentlicher aber mit ihnen zusammenfallend ist ein eigenthümliches unterirdisches Donnern, ein Getöse wie beim Abfeuern des groben Geschützes, aber dumpfer als der Donner des Gewitters. Die Erscheinung ist so allgemein, wenigstens mit allen nur etwas stärkeren Bebungen verbunden, dafs es keiner Beispiele zum Beweise derselben bedarf, und Personen, welche mehrere Erdstöfse erlebt haben, lernen den eigenthümlichen Ton so genau kennen, dafs sie aus demselben auf das begleitende Phänomen zu schliefsen vermögen.

5. Das erwähnte Hervorbrechen von Flammen aus der Erde und dem Meere setzt das Aufsteigen brennbarer und mephitischer Gasarten voraus. Wenn man nun annimmt, dafs diese den eigentlichen Erschütterungen wohl in geringerem Grade einige Zeit vorausgehen, und dafs dieses zuweilen auch rücksichtlich des minder merkbaren unterirdischen Getöses der Fall seyn mag, so läge in beiden ein nothwendiger Grund zu einem Vorzeichen der Erdbeben, welches oft im Allgemeinen angegeben wird, ohne dafs ich dasselbe jedoch bei den Beschreibungen heftiger Erscheinungen dieser Art ausdrücklich erwähnt finde, nämlich

1 Frankfurter Zeitung 1822. No. 360.
2 Journ. de Phys. XCII. 465.
3 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 382.

die Unruhe und das Geheule der Thiere, sowohl der zahmen als auch der wilden. Dafs dasselbe während der Bebungen selbst und der dadurch angerichteten Verwüstungen statt finden müsse, ist wohl mehr als zu natürlich, auch wird in den Beschreibungen einiger americanischer Erdbeben, z. B. in Caracas, des Heulens der Affen und der sonstigen wilden Thiere in den umgebenden Wäldern ausdrücklich gedacht, allein in jenen furchtbaren Augenblicken haben die Beobachter zu sehr mit sich selbst und den umgebenden Menschen zu thun, als dafs sie so etwas genau bemerken sollten. Obgleich daher die Thiere bei ihren schärferen Sinneswerkzeugen und der gröfseren Nähe derselben über der Erdoberfläche wegen des Riechens mephitischer Gasarten und des Wahrnehmens vorangehenden Donnerns füglich eine Vorempfindung bevorstehender Erdbeben haben, und diese auf gewisse Weise ausdrücken könnten, so kann doch hierin weder ein allgemeines noch auch ein sicheres Vorzeichen gegeben seyn, weil sonst die gefürchteten Erdstöfse nicht so unerwartet und überraschend eintreffen könnten, als selbst in den oft heimgesuchten Gegenden wirklich geschieht.

Einen Zusammenhang der Erdbeben mit atmosphärischen Veränderungen verwirft Kries[1] gänzlich, und mit vollem Rechte. Dagegen behaupteten viele, z. B. Richard, Bertrand, Cotte u. a. früher einen bedeutenden Einflufs derselben auf die Witterung[2]. Allerdings sehen viele, welche der Sache weniger kundig sind, ungewöhnlich tiefe Barometerstände, heftige Stürme, Wintergewitter mit auffallend lauer und milder Witterung als Vorboten und Zeichen naher oder entfernter Erdbeben an, ohne dafs jedoch die Erfahrung dieses bestätigt, vielmehr hat Gronau durch Zusammenstellung der während 119 Jahren gemachten Erfahrungen gezeigt, dafs Erdbeben und vulcanische Ausbrüche weder auf das Barometer noch auf die Witterung irgend einen Einflufs äufsern[3]. Einige meinen, dafs die Erderschütterungen gewöhnlich auf sehr nasse Jahre folgen, allein namentlich folgten die ziemlich weit und allgemein in Deutschland[4], einer sonst selten davon heimgesuchten Gegend, im No-

1 a. a. O.
2 J. de Ph. LXV. 164.
3 Magaz. d. Ges. Nat. Freunde III. 249.
4 Ann. de Chim. et. Phys. XXI. 393.

vember 1822 beobachteten vielmehr auf einen sehr trocken Sommer, und vor dem schrecklichen Erdbeben in Caracas 1812 war auf 90 Lieues in die Runde seit 5 Monaten kein Tropfen Regen gefallen. Eben so unrichtig ist es endlich, das häufige Sternschnuppen, Feuerkugeln und andere leuchtende Meteore, eine heiſse, drückende und das Sonnenlicht rothfärbende Luft mit dicken und schwarzen Wolken ihnen vorausgehen sollen[1].

Wenn man berücksichtigt, wie zahlreich die Erdbeben sind, über wie weit ausgedehnte Gegenden sie sich zuweilen erstrecken und wie oft, bei den gröſseren, einzelne Stöſse auch nach längeren Zwischenzeiten wiederkehren, so kann es nicht fehlen, daſs sie mit den verschiedensten Zuständen der Witterung und mit den mannigfaltigsten meteorischen Erscheinungen verbunden seyn müssen, weswegen es nicht schwer fallen kann, für eine jede der genannten Behauptungen eine oder mehrere Erfahrungen beizubringen, worunter einige allerdings etwas sehr Ueberraschendes haben. Dahin gehört namentlich das heftige Erdbeben zu Zante am 29sten Dec. 1820. Schon einige Tage vorher fiel eine ungewöhnliche Wärme auf, noch mehr aber der früh Morgens ausbrechende heftige Sturm, auf welchen plötzlich eine überraschende Windstille folgte. Der Sturm erhob sich nach dem Erdstoſse wieder und ging zum Orkane über, welcher mit Platzregen und starkem Hagel begleitet war. In der nächstfolgenden Nacht verursachte der anhaltende Platzregen eine bedeutende Ueberschwemmung, auch dauerte der entstandene SO. Wind noch bis 25 Tage nachher mit einer eintretenden schneidenden Kälte[2]. Man übersieht aber bald, daſs hierbei zwei ganz heterogene Erscheinungen zufällig zusammentrafen, deren jede auf die gewöhnliche Weise verlief, ohne daſs ein Causalnexus zwischen beiden anzunehmen ist; auch erfolgte am 6ten Jan. des folgenden Jahres ein wiederholter, gleichfalls ziemlich heftiger, Erdstoſs ohne irgend eine Veränderung der herrschenden Witterung. Etwas Auffallendes konnte es allerdings haben, daſs auch das im folgenden Jahre hauptsächlich am 17ten Nov. in Jassy, Dubossary und einem Theile der Moldau nach öffentlichen Blättern beobachtete nicht unbedeutende

---

1 Gehler a. A. II. 8.

2 Journ. de Phys. XCII. 465. Ann. de Ch. et Ph. XV. 422. XVIII. 417.

Erdbeben von heftigen Stürmen und Regen begleitet war, und überhaupt die zahlreichen Erderschütterungen dieses Jahres 1821 mit einer im Ganzen regnerischen Witterung zusammenfielen[1]. Endlich wird auch bei den Beschreibungen der schrecklichen Stürme, der Hurrikanes und Tornado's, welche mit furchtbaren Ueberschwemmungen verbunden namentlich die tropischen Inseln und Küstenländer verheeren, häufig von begleitenden Erdbeben geredet, allein dieses geschieht meistens nur von Unkundigen, welche bei jeder Erschütterung ihrer Wohnungen durch Sturm oder Fluthen, eben wie in unseren Gegenden, sogleich Erdbeben vermuthen, und dann aus begreiflichen Gründen auch wahrzunehmen glauben[2]. Fände wirklich ein Causalnexus statt zwischen den genannten meteorologischen Erscheinungen und den Erdbeben, so müfsten beide sich vorzüglich dann vereinigt zeigen, wenn die letzteren in ihrer furchtbarsten Gestalt hervortreten, wovon aber häufig gerade das Gegentheil beobachtet ist. So stand namentlich bei dem erwähnten Erdbeben in Caracas der ruhige, völlig wolkenlose und heitere Himmel im grellen Contraste mit den Verwüstungen auf der Erde und dem Jammergeschrei der Verunglückten; bei der Zerstörung von Catanea war das Wetter schön, und einige leichte Wolken, welche sich während desselben gebildet hatten, verschwanden bald wieder, endlich war im Sommer 1822 während der ganzen Dauer der wiederholten furchtbaren Erdstöfse, welche Syrien verheerten, das Wetter mehr als gewöhnlich warm und heiter, ohne irgend ein ausgezeichnetes meteorologisches Phänomen. Allerdings wird auch erwähnt[3], dafs nach dem Erdbeben in Valparaiso am 19ten Nov. 1822 es dort regnete, was sonst im November daselbst nie beobachtet ist. Diese Erscheinung würde aber, wenn sie nicht zufällig war, mehr den gleichzeitigen vulcanischen Ausbrüchen, in Folge der dadurch gebildeten Wasserdämpfe, als dem eigentlichen Erdbeben beizumessen seyn.

---

1 Ann. Ch. et Ph. XVIII. 413. XXI. 393.

2 Bei der Ueberschwemmung verschiedener deutscher Provinzen im October und November 1824 wurden von mehreren Seiten her beobachtete Erdbeben angegeben, deren keins bestätigt ist. Von welcher Art die Beobachtungen waren, läfst sich unter andern daraus abnehmen, dafs jemand angab, sein Haus sey durch ein Erdbeben erschüttert, wenn der Stofs nicht durch einen Baum in den Fluthen verursacht wäre.

3 Ann. Ch. et Ph. XXVII. 382.

Die Ursache, weswegen man sehr allgemein bei heftigen Stürmen und Regengüssen, so wie diesen vorausgehenden ungewöhnlich tiefen Barometerständen auf nahe oder entfernte Erdbeben schliefst, liegt wahrscheinlich in dem tiefen Eindrucke, welchen diese nicht lange nach einander folgenden Erscheinungen in dem merkmürdigen Jahre 1755 hinterlassen haben. Es soll nämlich[1] am 14ten Oct. zu Locarno in der Alpenkette früh um 8 Uhr ein warmer Dampf aufgestiegen seyn, welcher sich binnen zwei Stunden in einen röthlichen Nebel verwandelte, und als es gegen Abend regnete, fiel zugleich eine blutrothe Substanz nieder, welche sich in dem aufgefangenen Wasser als röthliche, leimige Masse zu Boden senkte. Dieser Purpurregen soll in einer Ausdehnung von 20 deutschen Meilen, selbst bis Schwaben hin, beobachtet seyn. Es folgten dann 14 Tage anhaltende heftige Regengüsse, wodurch die Flüsse in der Lombardei, die in den Alpen entspringen, und die Rhone anschwollen und austraten, auch tobten an jenen Orten heftige Orkane. Diese nasse und stürmische Witterung dauerte fort, auch fiel in der Mitte des Novembers, also später als das Lissaboner Erdbeben vom 1sten dieses Monates, nochmals in Ulm solcher röthlicher Regen. — Nehmen wir diesen Begebenheiten das Schreckhafte, welches sich aus dem darauf folgenden zerstörenden Naturphänomene so leicht in unsere Vorstellung einschleicht, so kommen sie auf zwei einfache Erscheinungen zurück, nämlich einen Regen mit rothen erdigen Stoffen vermengt, wie später noch einigemale ohne Erdbeben beobachtet sind, und eine Ueberschwemmung der Lombardischen Flüsse, durch südliche feuchte Luftströmungen veranlafst, welche noch weniger selten sind, mit den Erdbeben aber in keiner Verbindung stehen, das Zusammentreffen der nassen Witterung mit diesem war also eben so zufällig, als das der grofsen Dürre mit jenem von Caracas; wir würden aber die Erklärung dieser Phänomene unmöglich machen, wenn wir sie in Causalnexus bringen wollten.

IV. Die wesentlichen Erscheinungen der Erdbeben sind zwar an sich sehr einfach, aber nichts desto weniger sowohl rücksichtlich der Ursachen als auch der Wirkungen höchst räth-

---

1 S. Im. Kant Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfälle d. Erdbebens, welches am Ende des 1755sten Jahres einen grofsen Theil d. Erde erschüttert hat. Königsb. 1756. 4.

selhaft und schwierig zu erklären. In der Hauptsache bestehen sie nämlich aus Bebungen und Erschütterungen der Erdrinde, welche über gröfsere oder kleinere Strecken ausgedehnt mehr oder minder heftig sind, in der Regel eine gewisse Richtung befolgen, in welcher sie zugleich fortzuschreiten scheinen, und sich meistens zuerst als senkrechte Hebungen, dann als horizontale Schwankungen und bei sehr grofser Heftigkeit in einigen Fällen auch als rotatorische Schwingungen zeigen[1]. Nimmt man hierzu die heftigen Bewegungen des Meeres, verbunden mit einem oft unglaublichen Steigen und Fallen desselben, so sind damit die gesammten Erscheinungen an sich zwar gegeben, allein es ist zugleich kaum begreiflich, wie es möglich sey, dafs eine durch unterirdische Ursachen erzeugte Erschütterung der festen, an den Erdball gebundenen Rinde solche zerstörende Bebungen hervorbringen könne. Ich werde daher die wichtigsten Erscheinungen, welche nach unzweifelhaften Beobachtungen auf dem Lande statt finden, zuerst im Allgemeinen angeben, dann die Schwankungen des Meeres gleichfalls beschreiben, und endlich eine Uebersicht der bekanntesten Erdbeben in den verschiedenen Gegenden der Erde hinzufügen.

1. Die leichteren Erdstöfse, aus lothrechten Hebungen und horizontalen Schwankungen bestehend, erzeugen meistens ein Krachen in den Häusern als Folge einer Bewegung der Balken in ihren Fugen, ein Klirren der Gläser, Rütteln der Tassen, Urnen und sonstiger leicht beweglicher Sachen auf und in den Schränken, auf Comoden, Tischen und Gesimsen, ein Verschieben der Betten und Meubeln, Läuten der Glocken, Schwanken der Waagebalken u. dgl. m. Personen, welche die Erscheinung nicht kennen, oder aus dem begleitenden donnerähnlichen, unterirdischen Getöse nicht als solche entnehmen, fühlen sich unstät im Stehen, insbesondere aber auf ihren Sitzen, und glauben sich von einem plötzlichen Schwindel ergriffen. Sind die Erschütterungen heftiger bis zu den heftigsten, dann sind sie allerdings auch für den Unkundigen kenntlich genug. Dann stürzen die Schornsteine herab, Häuser und Mauern zerreifsen und bersten, die schwersten und massivsten Gebäude werden zertrümmert, und begraben die Bewohner unter ihren Ruinen, während die leichten nur Risse bekommen und ganz leichte Rohr-

1 Moto vorticoso der Neapolitaner. S. v. Hoff a. a. O. II. 71.

hütten dem Verderben am wenigsten unterliegen. In einigen Fällen ist das Zerbrechen und gleichsam Zerriebenwerden der stärksten Steine über alle Vorstellung hinausgehend. Hierbei ist aus leicht begreiflichen Gründen der Aufenthalt in den Häusern und überhaupt in den bewohnten Orten am gefährlichsten, allein auch Felder und Berge gewähren keine vollkommene Sicherheit, indem die ersteren an einigen Stellen bersten, zuweilen stückweise herausgerissen und fortgeschleudert werden, die letzteren aber nicht selten in die Tiefe herabgleiten, Flüsse abdämmen und hierdurch Ueberschwemmungen anrichten.

Wenn schon die durch diese Bebungen angerichteten Verheerungen alle Vorstellung übersteigen, so ist dieses noch mehr der Fall bei den rotatorischen Erschütterungen, deren Möglichkeit man zu bezweifeln geneigt seyn müſste, wenn nicht die Thatsachen über allen Zweifel erhoben wären, obgleich sie unter die seltenern oder mindestens die nicht häufig beobachteten gehören. Agatino Longo erwähnt[1], daſs bei dem Erdbeben zu Catanea, dessen Richtung im Allgemeinen von SO. nach NW. ging, mehrere Statüen gedrehet wurden, und namentlich fand man die Richtung einer groſsen Steinmasse um 25° von O. nach S. verändert. Noch auffallender aber ward diese rotatorische Bewegung bei dem Erdbeben zu Valparaiso am 19ten Nov. 1822 beobachtet, indem mehrere Häuser umgedrehet, drei Palmen aber wie Weiden um einander gewunden wurden[2].

Nur die geringeren Erdbeben gehen mit einem einzigen Stoſse vorüber; bei den meisten erfolgen in kurzen Zwischenräumen mehrere, und meistens so viel zahlreichere, je heftiger die Erschütterung überhaupt ist. Von den Stöſsen ist der erste, eben so oft aber, wo nicht noch öfter, der zweite der stärkste. Auſserdem aber werden die Erschütterungen auch nach längeren Zwischenräumen wiederholt, wie denn die Erdbeben in Syrien zuweilen mehrere Monate hindurch mit kürzeren oder längeren Pausen fortdauern. In der Regel aber ist die erste Katastrophe die gewaltsamste und zerstörendste.

2. Wie bedeutend groſs die Strecken sind, welche durch die Erdbeben in eigentliche Schwankungen gesetzt werden, dieses ersieht man hauptsächlich aus den Flutungen des Meeres.

---

1 Bibl. univ. 1818. Nov.

2 Ann. Ch. et Ph. XXVII. 332.

Am ausgezeichnetsten war in dieser Hinsicht das Erdbeben von *Lissabon* im Jahre 1755, überhaupt für Europa das stärkste, welches diesen Erdtheil jemals heimgesucht hat. Der Ocean überschwemmte dabei die Küsten von Schweden, England und Spanien; in America die Inseln Antigua, Barbados und Martinique. In Barbados erhob sich die Fluth, welche sonst nur 24 bis 28 Z. steigt, zu 20 F. in der Bai von Carlisle, und das Wasser erschien schwarz wie Tinte, wahrscheinlich von dem Erdpech, welches aus dem Meeresboden empor gestoſsen wurde[1]. Schon am ersten Nov. als die Erschütterung am stärksten war, zog sich das Wasser bei Guadaloupe zweimal zurück, und stieg bei der Rückkehr im Canal der Insel 10 bis 12 F. hoch. Aehnliche Erscheinungen zeigten sich bei Martinique. In Cadix überschwemmte eine 60 F. hohe Meereswelle einen Theil der Stadt, und sogar in den Schweizerseen, namentlich dem Genfer, verspürte man die Bewegungen 6 Stunden nach dem ersten Stoſse[2]. Merkwürdig aber ist, daſs im See Ontario die Bewegungen schon im October 1755 verspürt wurden[3]. Beim Erdbeben von Lima 1586 stieg eine Meereswelle im Hafen von Callao 84 F. hoch, im J. 1746 aber wurden eben daselbst 23 Schiffe versenkt. Als 1693 *Syrakus* durch ein Erdbeben zerstört wurde, wich das Meer so plötzlich zurück, daſs viele Fische auf dem trocknen Grunde zurückblieben, kehrte aber bald mit solcher Heftigkeit zurück, daſs es in die Stadt und Citadelle trat, und dort nachher eine Menge Fische zurücklieſs. Bei dem Erdbeben in *Calabrien* 1783 trat nicht bloſs das Meer über seine Ufer, und verschlang eine Menge Menschen, sondern es wurde überhaupt in einem solchen Grade erschüttert, daſs die Kanonen auf den Schiffen einige Zolle in die Höhe sprangen[4].

4. Auſser den erwähnten allgemeinen Wirkungen der Erdbeben giebt es noch einzelne, welche nicht unmittelbar aus den Erschütterungen folgen, und daher sich seltener ereignen. Hierhin gehört das schon erwähnte Herabgleiten ganzer Theile von

---

1 Ueber die starken Flutungen bei Lissabon selbst s. *Ebbe.* No. 32.

2 Phil. Tr. XLIX. 403. LII. 424. Daſs selbst im nördlichen Deutschlande mäſsig groſse Teiche in merkliche Schwankungen geriethen, weiſs ich von Augenzeugen.

3 V. Humboldt Reis. d. Ueb. I. 497.

4 S. Torcia's Beschreibung.

Bergen wie z. B. bei Dobratsch[1] im Jahre 1345, das Zusammenstürzen zweier Berge auf Jamaica 1692, wodurch ein Flufsbette zugedämmt wurde. Eben daselbst glitt ein Theil eines Berges herab und bedeckte mehrere Plantagen, die Stadt Portroyal sank acht Lachter tief ein, und eine Fläche von 1000 Morgen Landes mit allen darauf befindlichen Gebäuden stürzte zusammen.. Auf der Insel Trinidad sanken 1766 mehrere Berge bedeutend herab, und auf Mindanao soll 1640 der Gipfel eines Berges über eine deutsche Meile fortgeschleudert seyn, welches indefs kaum möglich ist. Dafs übrigens durch so heftige Erschütterungen Spalten in der Erdrinde entstehen und Quellen sich in diese verlieren, dafs intermittirende Brunnen perennirend werden, Flüsse ihren Lauf verändern und eben so verstopfte Quellen an andern Orten wieder hervorbrechen können, liegt eben so sehr in der Natur der Sache, als es durch die Erfahrung bestätigt wird. Ein eigentliches Entstehen neuer Quellen finde ich blofs als kurze Zeit dauernd und aus den Ritzen alter Lava hervorbrechend erwähnt; dafs aber bedeutende Ueberschwemmungen als Folge des aus der Erde gedrungenen Wassers durch Erdbeben veranlafst werden sollten, wie dieses mehrfach von der am Ende des Jahres 1824 über einen grofsen Theil von Deutschland verbreiteten behauptet wurde, streitet nicht blofs gegen die Erfahrung, sondern auch gegen die Gesetze der Mechanik[2]. Grofse und bleibende Veränderungen der Erdoberfläche, namentlich das Versinken und Entstehen von Inseln und Küsten gehört nicht sowohl eigentlich den Bebungen der Erdrinde, als vielmehr den vulcanischen, mit diesen verbundenen Operationen an.

Die einzelnen Stöfse folgen oft sehr schnell, oft nach gröfseren oder geringeren Zeitintervallen auf einander; sie sind mitunter einzeln, nicht selten zahlreich, und in vulcanischen Gebieten dauern die abwechselnden Erschütterungen zuweilen Monate und selbst Jahre lang, worauf dann wieder kürzere, längere und sogar Decennien und Jahrhunderte dauernde Zwischenräume folgen. Merkwürdig ist in dieser Hinsicht, dafs Syrien

1 S. Reise durch einige Theile vom mittägl. Deutschland. 1798. S. 63.

2 S. Schübler's und meine Abhandlungen in Poggendorf's Journ. III. 129 u. 145.

seit dem Erdbeben, welches 1204 Antiochien, Damascus und Tripolis zugleich erschütterte, bis in die zweite Hälfte des 17ten Jahrhunderts verschont blieb, obgleich fast keine Gegend der Erde durch diese zerstörenden Naturerscheinungen mehr leidet, als gerade jene. Die eigentliche Dauer eines einzelnen Stofses, einer einzelnen Bebung endlich ist schwer zu bestimmen. Im Allgemeinen ist ihre Dauer unzweifelhaft kurz, und beschränkt sich bei den geringeren, von ruhigern und daher mit gröfserer Aufmerksamkeit beobachtenden Zeugen wahrgenommenen, auf nur wenige Secunden. Bei den gröfseren, z. B. in Lima, Caracas, Calabrien, Catanea, Zante, Antiochien u. s. w. wird die Zeit zu 50 Sec. bis 1,5 Min. oder unbestimmt zu wenigen Minuten, wenigen Augenblicken angegeben. Wenn man berücksichtigt, dafs sogleich bei der ersten Wahrnehmung die Aufmerksamkeit ausnehmend gespannt ist, die Zeitdauer der Erscheinung dann aber nicht vermittelst einer Uhr gemessen, sondern nach Gutdünken geschätzt wird, unter solchen Verhältnissen aber die Zeit ungleich länger angegeben zu werden pflegt, als sie wirklich ist, so läfst sich mit hoher Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs die Dauer einer einzelnen Erschütterung wenige Secunden, ich möchte sagen höchstens eine halbe Minute sicher nicht übersteigt.

Hiermit sind die hauptsächlichsten Bewegungen des Meeres zugleich mit angegeben, welche im Allgemeinen in plötzlichen Erhebungen desselben, Ueberströmungen über die Küsten, Senkungen, und Erschütterungen bestehen. Die Schiffe gerathen dabei selbst in bedeutender Entfernung vom Lande in eine solche zitternde Bewegung, als wenn sie über einer Menge von Klippen hinführen. Dieses war der Fall bei dem Erdbeben zu Lissabon von 1816 bis auf 160 ja sogar bis auf 270 Seemeilen von der Küste. Zugleich hören die Schiffe ein unter ihnen scheinbar befindliches Krachen, welches in Verbindung mit der gleichzeitigen Bebung die Schiffer glauben macht, das Fahrzeug habe einen bedeutenden Stofs und Leck erhalten[1].

V. Eine vollständige Aufzählung aller bekannter Erdbeben könnte blofs durch das Auffallende der Menge dieser Erscheinungen Interesse erregen, übrigens aber nicht anders als ermüdend seyn. Hier würde eine solche ohnehin nicht am rechten

1 Edinb. Journ. of Sc. VII. 71. Vergl. VIII. 264.

Orte stehen, und es wird daher genügen, nur eine allgemeine Uebersicht der vorzüglichsten mitzutheilen, um daraus einen ohngefähren Begriff ihrer verhältnifsmäfsigen Menge in den verschiedenen Erdtheilen und der Gesammtheit der dazu gehörigen Erscheinungen zu erhalten.

In *Europa* ist keine Gegend mehr durch Erdbeben heimgesucht, als Italien mit den umliegenden Inseln. Das erste, welches daselbst am meisten Aufsehen machte, war das vom Jahre 63 n. Ch., wobei Herculaneum und Pompeji, die nachher im J. 79 durch die Asche und Lave des Vesuv's überschütteten Städte, untergingen[1]. Seitdem sind sie sowohl dort, als auch besonders in Sicilien häufig wiedergekehrt, bis zum 12ten Jahrhunderte jedoch ungleich seltener, als von da an bis auf die neuesten Zeiten, namentlich im 18ten und 19ten Jahrhunderte[2]. Unter allen diesen möge nur eins der jüngsten in Calabrien und eins in Sicilien näher beschrieben werden.

Das Erdbeben, wodurch Calabrien und die Stadt Messina zerstört wurden, wüthete vom 5ten Febr. bis 28sten März 1783 in ungleichen Perioden. Nach Torcia[3] war der Hauptsitz desselben das Städtchen Oppido in der Nähe des Aspramonte, einer mit Schnee bedeckten Spitze der Appenninen. Von hieraus verbreitete es sich auf 5 deutsche Meilen in die Runde, also über eine Fläche von 80 Quadratmeilen, schien vom Aetna auszugehen und unter dem Meere hin fortgepflanzt zu werden, welches um so auffallender ist, da diese ganze Gegend aus Urgebirgen besteht. Man vernahm wiederholt ein von SW. herkommendes, donnerähnliches Getöse, welchem die Erschütterungen folgten, wodurch ganze Strecken der Gegend von der granitischen Unterlage herabglitten. Bei Scylla stürzte ein grofser Theil des Berges ins Meer, die zurückgedrängten Fluthen kehrten mit Un-

---

1 Senec. Quaest. Nat. VI. 1.

2 S. v. Hoff a. a. O. II. 180 ff.

3 Kurze Beschreibung des Erdbebens, welches Messina und einen Theil Calabriens betroffen. Aus d. Ital. d. H. Torcia. Nürnb. 1783. Vergl. Dolomieu Mém. sur le tremblement de terre cet. Rome 1784. W. Hamilton in Phil. Trans. LXXIII. I. 169. deutsch. Nachricht von dem letzten Erdbeben in Calabrien u. Sicilien u. s. w. a. d. F. von G. F. Wehrs. Hann. 4. Andere Uebers. Wittenb. 1783. Giov. Vivenzio Istoria e teoria de' tremuoti ed in particulare di quelli della Calabria e di Messina di 1783. Napoli 1788. 4.

gestüm zurück, und rissen 1450 Menschen mit sich fort. Gegen 400 Städte und Dörfer wurden zerstört, mehr als 100 Berge glitten herab, stürzten zusammen, dämmten Flüsse zu, bildeten Seen, und überhaupt wurde die Gegend so verändert, dafs man sie kaum wieder erkannte. Im Ganzen sollen an 100,000 Menschen dabei umgekommen und beschädigt seyn, und von manchen Familien fanden sich kaum einige entfernte Verwandte als Erben. Oppido war geborsten, Terranuova löste sich vom Hügel ab und sank in den Muro, über den Ortschaften erhoben sich beim Einstürzen dicke Staubwolken und in manchen blieb kein Stein auf dem andern. Als sonderbare Ereignisse erzählt Graf Stolberg[1], dafs ein Mann, eine Frau und ein Esel zusammt dem Boden, worauf sie gingen, aufgehoben, und über einen Flufs geworfen wurden. Ein anderer Mann safs auf einem Citronenbaume, während dieser mit dem Erdreich aufgehoben und eine Strecke fortgeschleudert wurde, wo er dann wieder festwuchs.

Das heftigste Erdbeben in Sicilien seit dem von 1693, wodurch gegen 50 Ortschaften zerstört wurden, und nahe an 100,000 Menschen umkamen[2], war das am 20sten Febr. 1818, welches insbesondere die Stadt Catanea mit ihrer Umgegend traf[3]. Als Vorzeichen wollen die Molluskenfischer bemerkt haben, dafs sie durch die Wellen gleichsam vom Ufer zurückgestofsen wurden, auch soll das Wasser dort warm gewesen seyn. Glücklicherweise erfolgte der Hauptstofs am Tage, als die wenigsten Menschen in den Häusern waren. Die Richtung der Erschütterung war von SO. nach NW. und man konnte deutlich die aufwärts gerichtete, die horizontale Bewegung und die Wirkungen einer eigentlichen Drehung wahrnehmen. Aufser den gewöhnlichen Zerstörungen wurden mehrere Kreuze auf den Gipfeln der Kirchen gebogen, welches man von Blitzen ableiten wollte. Merkwürdig aber ist, dafs einige Mauern für einen Augenblick so zerrissen wurden, dafs man den Mond durchscheinen sah, dennoch aber fielen sie so genau wieder zusammen, dafs man kaum den Rifs bemerkte. Zu Catanea, Mascalucia,

---

1 Reisen III. 249.

2 S. T. Bergmann physik. Beschreib. d. Erdkugel. II. §. 150.

3 S. Agatino Longo memoria storico-fisico, sul tremuoto. in Bibl. Ital. Set. 1818. Bibl. univ. 1818. Nov.

Nicolosi, Trecastagne, Vigrande, Aci-Catane, Zafarana u. a. a. O. wurden eine Menge Gebäude gänzlich zerstört oder bedeutend beschädigt.

Unter die schrecklichsten, hauptsächlich aber die am weitesten verbreiteten Erdbeben gehört das zu Lissabon vom 1sten Nov. 1755, auf welches ein minder heftiges am 31sten März 1761 folgte[1]. Ein Theil der Stadt versank im Meere, ein anderer wurde von den Fluthen des Taio überschwemmt, und die Zahl der dabei umgekommenen Menschen wird auf 30000 angegeben. Am meisten Aufsehen erregte dieses Erdbeben durch den unglaublich grofsen Umfang, in welchem gleichzeitig geringere Erdstöfse verspürt wurden. Sie verbreiteten sich nämlich von Grönland und Island aus über Norwegen, Schweden, Deutschland, die Schweiz, Frankreich, Spanien, Marocco, Salee, Fez, Tetuan, selbst bis zu den Antillen und zum See Ontario. Auf den ersten heftigen Stofs in Lissabon folgten abwechselnd noch mehrere nach ungleichen Zwischenzeiten in verschiedenen Gegenden Europa's, am 9ten Dec. aber noch ein heftiger zu Lissabon und ebendaselbst abermals am 27sten desselben Monats, und zu gleicher Zeit wurde eine merkwürdige Erschütterung wahrgenommen, deren Richtung auf die frühere fast genau perpendiculär war. Sie lief nämlich durch das Rheinthal vom Elsafs und Lothringen nach Cöln, und von dort auf der einen Seite westwärts durch Brabant bis zur Picardie, und ostwärts durch Cleve bis nach Westphalen.

Die Erdbeben in den meisten übrigen Theilen von Europa sind minder bedeutend und keiner besondern Erwähnung werth. In der Schweiz sollen sie vom 11ten bis zum 15ten Jahrhundert häufiger und stärker gewesen seyn[2], in Deutschland, Polen, Rufsland, Skandinavien und Grofsbrittannien gehören sie unter die Seltenheiten, und richten kaum merklichen Schaden an. Mehr unterworfen sind ihnen die südlichen Küstenländer von Spanien und Frankreich, wie sich zuletzt noch 1822 gezeigt

---

1 Unter den vielen Nachrichten darüber s. Hollmann de terrae motibus cet. in Sylloge Comment. Gott. p. 1. Berwicke in Phil. Trans. XLIX. 424. Antonio Ulloa ebend. 427. Michell ebend. LI. 566. Vergl. v. Humboldt Voyages cet. I. 316. v. Hoff a. a. O. II. 213 und 271.

2 S. Mayer Bemerkungen auf einer Reise durch Thüringen, Franken u. s. w. Berlin 1818. Bd. I.

hat[1]. Durchaus vulcanisch, und eben daher von Erdbeben oft heimgesucht, ist *Island*, jedoch sind jene ganz den vulcanischen Wirkungen zugehörig. Als ein Beweis ihrer Bedeutsamkeit mag daher bloſs die Erwähnung dienen, daſs im Jahre 1784 auf einmal bloſs im Syssel Arneſs 372 Maierhöfe beschädigt, und zwar 69 derselben ganz umgestürzt und 64 unbewohnbar gemacht wurden. Auf der ganzen Insel wurden 1409 Häuser mehr oder minder zerstört[2].

Dalmatien, Ungarn, die Moldau und Wallachei, die Europäische Türkei und Griechenland sind allerdings häufigern und heftigern Katastrophen dieser Art ausgesetzt. Als Beispiel möge dasjenige angeführt werden, wodurch am 29sten Dec. 1820 *Zante* zerstört wurde. Schon im Anfange der Nacht hörte man ein unterirdisches Getöse, wie einzelne Schläge auf eine Trommel. Plötzlich folgte die Erschütterung, welche im Ganzen etwa 30 Sec. dauerte, zuerst in die Höhe gehend, dann horizontal schwankend und endlich gleichfalls rotatorisch. Es wurden hierdurch 80 Häuser ganz zusammengeworfen, 800 stark beschädigt und alle übrigen in einem geringeren Grade. Am 6ten Januar des folgenden Jahres kam abermals ein merklicher Erdstoſs, aber ungleich geringer als der vorige. Merkwürdig war allerdings, daſs nur 4 Menschen dabei ums Leben kamen, weit mehr aber beschädigt wurden. Am nämlichen 29sten Dec., aber schon früh Morgens, war ein heftiges Erdbeben an der Südküste der Insel Celebes[3].

So schrecklich auch einige der Europäischen Erdeben waren, so stehen sie doch in keiner Vergleichung mit denen, wodurch manche Gegenden von *Asien* verheert wurden. Uebergeht man hierbei diejenigen, welche auf den Inseln, dem östlichen Continente und in den Umgebungen des Caspischen Meeres beobachtet wurden, so zieht insbesondere *Syrien* wegen der oft erlittenen Verheerungen die Aufmerksamkeit auf sich[4]. Unter die stärksten gehört das vom Jahre 17 n. Ch. G. wodurch 13 groſse Städte in einer Nacht zerstört wurden[5], ein anderes vom

1 Ann. Ch. Ph. XXI. 398.

2 Island. Von Ebenezer Henderson. II. 243.

3 Journ. de Ph. XCII. 465. Ann. Ch. P. XV. 422. XVIII. 417.

4 S. die Erdkunde von C. Ritter. Berlin 1818. II. 338.

5 Plin. H. N. II. 84.

Jahre 315, wodurch Areopolis unterging[1], und die schrecklichsten von allen unter der Regierung Justinian's[2]. Im Jahre 526 wurden in den Städten am Orontes, hauptsächlich in Antiochien, 200000 Menschen erschlagen, i. J. 551 wurden Barytus, Sidon und viele andere Städte vernichtet, das mittelländische Meer trat an einigen Stellen aus seinen Ufern. Im J. 1169 dauerten die einzelnen Erschütterungen gegen vier Monate und wieder 1202 zerstörte ein neues Erdbeben eine Menge Städte, verschüttete ganze Thäler des Libanon, und zertrümmerte die Ortschaften des Basaltzuges von Hauran, so daſs man nach dem Ausdrucke jener Zeit nicht mehr sagen konnte: hier stehe diese oder jene Stadt. Nach einiger Ruhe und minder verheerenden Katastrophen war 1759 wieder eins der furchtbarsten Erdbeben, welches 6 Wochen anhielt, und bei dessen erstem Stoſse die Städte Antiochien, Balbeck, Sayd, Acre, Fussa, Saphet, Nazareth und Tripolis in Trümmern gelegt und 30000 Menschen erschlagen wurden[3]. Wohl noch anhaltender und verheerender war das neueste Erdbeben von 1822, wobei namentlich am 13ten Aug. in einer schrecklichen Nacht Aleppo, Antiochien, Dschollib, Biha, Gisser, Schogr, Derkusch, Armenas, ja sogar jedes einzelne Dorf und jede einzelne Hütte innerhalb des Paschaliks von Aleppo binnen 10 bis 12 Sec. gänzlich zernichtet und in einen Schutthaufen verwandelt wurden. Wenigstens 20000 Menschen verloren dabei das Leben und noch mehrere wurden verstümmelt, eine bei der gesunkenen Bevölkerung jener Gegend sehr bedeutende Zahl. Die äuſsersten Grenzpuncte, wo die Erschütterung stark genug war, um Häuser umzustürzen, waren Diarbekr und Merkab, Haleb und Skanderum, Killis und Khan-Schekum. Aber die Bebungen wurden bis Damascus, Cypern und Adana, auf offener See bis zwei Meilen von Cypern verspürt[4].

Africa ist an sich höchst unbekannt, und so kennt man auch keine Erdbeben seines innern Continentes, wo sie übrigens auch wahrscheinlich weder häufig noch bedeutend sind. Die

---

1 Hieronymus Com. in Jos. c. 15.

2 S. Gibbon Hist. VII. a. E.

3 Ritter a. a. O.

4 Frankf. Zeit. 1822. No. 360. Sehr ausführlich über die Erdbeben in Syrien ist v. Hoff a. a. O. II. 136 ff.

Südspitze dieses Welttheils wird nur selten durch geringe Erschütterungen heimgesucht, weit häufiger und stärker die Nordküste, wo noch 1825 im März Algier und Blida nicht unbedeutend litten. Im Ganzen aber sind auch diese zu unwichtig, um hier besonders erwähnt zu werden.

Dagegen steht *America*, insbesondere der südliche Theil desselben, keinem Erdtheile an Gröfse, Zahl und Dauer der Erdbeben nach. Bei der Menge der dort überall verbreiteten Vulcane stehen sie aber mit den Wirkungen dieser meistens in so nahem Zusammenhange, dafs beide nicht füglich getrennt werden können, und ich erwähne daher hier nur einige der hauptsächlichsten. Dahin gehört vorzüglich das von 1746, wodurch binnen drei Minuten *Lima* gröfstentheils zerstört, *Callao* überschwemmt wurde, und von 4000 Menschen nur 200 entkamen. Die heftigen Schwankungen des Meeres und der Untergang von 23 Schiffen ist schon oben erwähnt. Eine minder starke Katastrophe hatte die nämliche Gegend schon 1586 erduldet. Nicht minder schrecklich war die Zerstörung von Neu-Andalusien im Jahre 1766 am 21sten Oct., wobei die Bebungen sich über Cumana, Caracas, Maracaibo, die Gestade des Casanare, des Meta, Orenoco und des Venturio erstreckten, und selbst die völlig granitischen Gegenden in der Mission von Encaramada unter heftigem Getöse erschüttert wurden[1].

Unter die bekanntesten Erdbeben aber gehört dasjenige, welches 1797 einen grofsen Theil von *Peru* verwüstete. Die Erschütterung ging vom Vulcane Tunguragua aus, erstreckte sich auf 140 franz. Meilen von W. nach O. und auf 170 von NO. nach SW., dauerte mit schwachen Stöfsen den ganzen Februar und März, und wurde mit gröfster Heftigkeit am 5ten April erneuert. Eine Menge Ortschaften und Gegenden wurden durch die herabstürzenden Bergspitzen verschüttet, aus den Vulcanen strömten schlammige Wasser, bedeckten die Gegenden, und überzogen sie mit einer nachher erhärtenden Erdrinde. Es sollen hierbei im Ganzen 16000 Menschen umgekommen seyn[2].

Das Erdbeben von *Valparaiso*, heftiger als man seit 1730 in Chili eines erlebt hatte, ist mit seinen Eigenthümlichkeiten schon erwähnt. In einer Zeit von 2 bis 3 Minuten am 19ten

1 v. Humboldt's Reis. d. Ueb. III. 40.

2 Journ. de Ph. l'un. VII. Fischer spanische Miscellen Bd. I.

Nov. 1822 um 11 Uhr Nachts wurden alle Häuser bedeutend beschädigt und viele umgestürzt. Geringere Schwankungen dauerten noch bis 4½ Uhr Morgens. Das Meer an der Küste sank gleichzeitig um 12 F. und 150 bis 200 Menschen wurden erschlagen. Hierbei war es, daſs man die rotatorischen Bewegungen wahrnahm[1].

Nicht leicht war ein Erdbeben für einen einzelnen Ort zerstörender, als dasjenige, wodurch *Caracas* 1812 unterging, und wovon v. Humboldt eine eben so genaue als lehrreiche Beschreibung geliefert hat[2]. Caracas glaubte wegen der dortigen Urgebirge sich versichert, obgleich schon 1641, 1703, 1778 ein stärkeres und 1802 geringere Erdstöſse verspürt waren. Daſs auch diese Gegend in einem vulcanischen Zuge liegt, und daher solchen Katastrophen ausgesetzt seyn muſs, bezweifelte v. Humboldt nach seinen Beobachtungen nicht. In diesem vulcanischen Kreise waren zuletzt im December 1811 verschiedene Erdstöſse verspürt, als mit dem 26sten März der Stadt *Caracas* der Tag ihres Unterganges erschien. Der Himmel war heiter, und in Venezuela war seit 5 Monaten kein Tropfen Regen gefallen, warnende Vorzeichen gingen nicht voraus, sondern ganz unvermuthet erfolgte Abends 4 U. 7 Min. der erste Stoſs, wodurch die Glocken zu läuten anfingen. Sogleich folgte ein zweiter, welcher den Boden wellenförmig wallen machte, bald darauf ein unterirdisches Getöse und dann wieder eine senkrechte, bald in eine wellenförmige übergehende Erschütterung, welcher nichts zu widerstehen vermochte. Anstatt sofort das Freie zu suchen, war das Volk augenblicklich in die Kirchen geströmt, wohin man noch obendrein eine Procession anordnete, als schon die Menge der dort versammelten Menschen unter den Ruinen begraben wurde. Zwei Kirchen nämlich, der Trinida und der alta gracia von mehr als 150 F. Höhe und durch 12 bis 15 F. dicke Pfeiler gestützt, stürzten in Schutthaufen von 6 F. Höhe, groſsentheils in Staub zermalmt, zusammen. Die Caserne El Quartel verschwand fast ganz, und ein darin aufgestelltes Regiment, welches zur Procession gehen sollte, verschwand bis auf wenige noch zugleich mit. Neun Zehntel der Stadt waren gänzlich zerstört, und die meisten übrig gebliebenen

1 Frankf. Zeit. 1823. No. 100. Ann. Ch. Ph. XXVII. 382.

2 Relat. Hist. liv. V. c. 1.

Häuser waren unbewohnbar. Man berechnet die Zahl der Erschlagenen auf nahe 10000, diejenigen ungerechnet, welche durch Verstümmelung und Mangel an Nahrung nachher umkamen. Als die Staubwolke sich gelegt hatte, folgte eine heitere Nacht, welche mit der Zerstörung der Erde und den mit Leichen bedeckten Trümmern einen furchtbaren Contrast bildete. Die Dauer der eigentlichen Stöfse wird von einigen 50 Min. von andern 1 Min. 12 Sec. angegeben.

Die Erschütterungen verbreiteten sich auch über die Provinz Venezuela, Varinas, Maracaibo und die Gebirge im Innern des Landes. La Guyara, Mayquetia, Antimano, Baruta, la Vega, S. Felipe und Merida wurden fast ganz zerstört. In Guyara und Felipe betrug die Zahl der Erschlagenen gegen 5000. Das Erdbeben schien in einer Linie von ONO. nach WSW. von Guyara und Caracas nach den Bergen von Niquitao und Merida am heftigsten gewesen zu seyn, erstreckte sich über eine Länge von 180 franz. Meilen von Caracas bis an den Magdalenenflufs, und war stärker auf den Gneifs- und Glimmerschiefer-Cordilleren, als in den Ebenen. Zu Valecillo bei Valencia warf die zerrissene Erde so viel Wasser aus, dafs sich ein Strom daraus bildete, und ebenso bei Porto Cabello; dagegen wurde der Spiegel des Sees von Maracaibo vermindert. Alle seitwärts vom eigentlichen Zuge gelegenen Gegenden, namentlich die sonst so gefährlichen Küsten von Araya, Cumana und Nueva Barcellona litten nichts.

Am 27sten März folgte noch eine heftige, mit starkem Donner begleitete Erschütterung, und eine der ersten an Heftigkeit wenigstens gleiche am 5ten April. Hierbei stürzten grofse Felsmassen von der Silla de Caracas, und man glaubte zu bemerken, dafs der Gipfel sich an 50 bis 60 Toisen gesenkt habe, wie denn auch beim Erdbeben in Quito der Tunguragua gesunken seyn soll[1].

VI. Da gegenwärtig ein inniger und ursächlicher Zusammenhang zwischen den Erdbeben und den vulcanischen Aus-

---

1 Sehr vollständig und belehrend über die Erdbeben ist v. Hoff in seinem erwähnten Werke, hauptsächlich in Hinsicht auf die überall genau nachgewiesenen Quellen. Ebendaselbst findet man Th. II. S. 559 auch eine Angabe der Schriften, welche Verzeichnisse der Erdbeben enthalten.

brüchen nicht mehr bezweifelt werden kann, die früheren Hypothesen über die Ursachen dieser Phänomene aber mit der gegenwärtig geläuterten physikalischen Kenntnissen unverträglich sind, so wird es genügen, diese nur kurz zu erwähnen, die Untersuchungen über die Ursachen der gesammten vulcanischen Wirkungen aber am geeigneten Orte nachzuholen [1].

Die anfängliche Hypothese, wonach die Ausbrüche der Vulcane sowohl als auch die Erdbeben Wirkungen des Centralfeuers seyn sollten, wurde hauptsächlich zuerst angefochten durch W. Stukeley [2], welcher aus den Erscheinungen zweier zu London am 8ten Febr. und 8ten März 1749 beobachteten Erdbeben zu beweisen suchte, daſs eine hohe Spannung der Elektricität dieselben erzeuge. Andreas Bina [3] gab sie noch bestimmter für Erschütterungsschläge aus, durch unterirdische Flaschen erzeugt, welche er in dortigen Wasserbehältern, von Schwefel und Pech umschlossen, zu finden glaubte. Beccaria [4] suchte bekanntlich der Elektricität alle nur möglicherweise mit ihr vereinbare Erscheinungen beizumessen, und so glaubte er auch, daſs eine Anhäufung derselben in der Erdrinde Erschütterungsschläge gegen die Wolken verursache, welche sich dann als Erdbeben zeigten. Lange stellte man einen zum Beweise dieser Behauptung ersonnenen Versuch an, indem der Verbindungsdraht einer leidener Flasche über eine Glasscheibe geleitet, hier etwa 1 Z. weit unterbrochen, nnd über diese Unterbrechung eine Scheibe Elfenbein mit Kartenhäuschen gelegt wurde, welche durch die Erschütterung des Flaschenschlages zerstiebten [5]. Weder die Anwendbarkeit dieses naiv ausgedachten Versuches, noch auch die ganze Theorie verdienen irgend eine Widerlegung. Auch in America fand v. Humboldt die Meinung herrschend, daſs die Erdbeben elektrische Erscheinungen seyen, bemerkt aber zugleich, daſs dieses mit der Vorliebe für den Americaner Frank-

---

1 S. *Vulcane.*

2 Phil. Traus. XLVI. No. 497. The philosophy of earthquakes natural and religious. Lond. 1750. 8. Vergl. Hales ebendaselbst XLVI. 497.

3 Ragionamento sopra la cagione de terremuoti. In Perugia. 1751. 4.

4 Lettere dell' elettricismo. Bologna 1758. 4.

5 Cavallo vollständ. Abh. der Lehre von der El. 3te Aufl. Leipz. 1785. p. 184. u. 234.

lin entschuldigt werden müsse[1]. Die Erfindung der Volta'schen Säule und die Beobachtung ihrer ausgezeichneten Wirkungen bewog viele Gelehrte, am wenigsten jedoch die eigentlichen, mit der Natur dieses merkwürdigen Apparates innig vertrauten Physiker, die ganze Erde als eine solche Säule anzusehen oder im Innern derselben ähnliche Apparate anzunehmen. Es belohnt sich inzwischen auch hierbei der Mühe nicht, die gänzliche Unhaltbarkeit einer solchen Hypothese nachzuweisen.

Inzwischen veranlaſste diese Theorie den Abbé Bertholon de St. Lazare einen *Erdbebenableiter* (paratremblement de terre) anzugeben[2], welcher Franklin's Blitzableitern nachgebildet war. Man soll nämlich lange eiserne Stangen so tief als möglich in die Erde senken, und sowohl ihr unteres, als auch ihr oberes hervorragendes Ende mit einer Krone von mehreren Spitzen versehen. Einige deutsche Schriftsteller, namentlich Wiedeburg[3], haben diese Vorschläge wiederholt, ohne zu bedenken, daſs bei der ungeheuern Ausdehnung der Erschütterungskreise die wirkliche Ausführung derselben noch weit mehr an der factischen Unmöglichkeit scheitern müſste, als dieses bei den neuerdings beliebten Hagelableitern der Fall seyn würde[4].

M.

Erdbebenmesser

ist ein in die physikalischen Apparate nicht eigentlich eingeführtes Werkzeug, welches durch den Mechanicus Salsano in Neapel in Vorschlag gebracht[5], schwerlich aber jemals wirklich ausgeführt wurde. Dasselbe besteht aus einem langen Pendel mit einem 36 ℔ schweren Gewichte, und einem Pinsel am unteren Ende, dessen Bestimmung seyn sollte, mit einer färbenden Substanz die Gröſse der erregten Schwingungen und die Richtung derselben auf einer untergelegten papiernen Windrose zu zeichnen. Auſserdem sollte am Gewichte des Pendels eine Querstange mit Klöppeln angebracht werden, um bei der Bewe-

1 v. Humboldt Voy. II. 6.

2 Journ. de Ph. XIV. 8.

3 Ueber die Erdbeben. Jena 1784. 8.

4 Ueber die einzigen Verhütungsmittel der Erdbeben, nämlich tiefe Brunnen. S. *Vulcane.*

5 Lichtenberg Mag. II. 2. p. 68.

gung an Glocken zu schlagen, und den Beobachter aufmerksam zu machen. Die wirkliche Ausführung des Vorschlags würde mit weit gröſseren Schwierigkeiten verbunden seyn, als durch den unsichern Nutzen einer solchen Vorrichtung aufgewogen werden könnten. *M.*

Erde.

Erden; *Terrae*; Terres, *Earths.* Unter Erde verstanden die älteren Chemiker eine einfache, solide, feuerbeständige, farblose, geschmacklose und nicht im Wasser lösliche Materie. Später zeigte sich, daſs es mehrere dergleichen Erden gäbe, welche sich nicht auf einander zurückführen lassen, und es wurden verschiedenartige Erden unterschieden. Endlich zeigte H. Davy, daſs sie alle aus eigenthümlichen Metallen oder diesen ähnlichen Substanzen und aus Sauerstoff bestehen, so wie sie auch in ihren chemischen Verhältnissen mit den übrigen Metalloxyden (die Alkalien mit inbegriffen) so sehr übereinkommen, daſs eine genaue Abgrenzung unmöglich ist. Heutzutage werden allgemein zu den Erden gerechnet: die Zirkon-, Alaun-, Soſs- nnd Ytter-Erde; bald zu den Erden, bald zu den Säuren zählt man die Kieselerde; bald zu den Erden, als alkalische Erden, bald zu den Alkalien die Bitter-Kalk-Strontian- und Baryt-Erde[1], und auch das Ceriumoxydul hat so groſse Aehnlichkeit mit der Yttererde, daſs es schon von Klaproth den Erden beigezählt wurde. *G.*

Erde.

Erdkugel, Erdball; *Terra, Globus terraqueus, globus terrestris;* Terre; *Earth.*

Man bezeichnet hiermit denjenigen Planeten, welchen wir bewohnen. Als hauptsächlichste Theile der hierher gehörigen Untersuchung lassen sich betrachten die *Bewegung dieses Körpers um seine Axe und im Weltraume*, überhaupt die Stelle, welche derselbe im Sonnensysteme unter den übrigen Planeten einnimmt, die *Gröſse* und *Gestalt* der Erde, ihre *Dichtigkeit*

---

1 S. *Alkali.*

und die Beschaffenheit ihrer inneren Theile, ihre *Temperatur* mit Rücksicht auf die sie umgebende Atmosphäre, die *Bestandtheile ihrer Rinde* nebst deren Wechseln und Lagerungsverhältnissen, ihre *Oberfläche* mit den Abwechselungen der Erhabenheiten und Vertiefungen, des Festen und Flüssigen, endlich die *Art ihrer ursprünglichen Bildung* und die *Veränderungen*, durch welche sie ihren gegenwärtigen Zustand erhalten hat. Alles dieses gehört dem geringeren Theile nach zur Astronomie, dem bei weitem gröfseren nach zur mathematischen und physischen Geographie, zur Geognosie und Geologie. Dafs ein jeder dieser einzelnen wissenschaftlichen Zweige in grofsen Werken umfassend und gründlich bearbeitet sey, ist allgemein bekannt, und dafs sie insgesammt von grofsem Nutzen und von hoher Wichtigkeit für den Physiker sind, aufserdem aber allgemeines Interesse erregen, wird eben so wenig von irgend jemanden in Abrede gestellt werden. So sehr nun aber dieses Werk seiner Anlage gemäfs nach möglichster Vollständigkeit der zur Physik gehörigen Lehren strebt, so würde es doch die bestimmten Grenzen weit überschreiten, wenn ich auch nur das Wichtigere von demjenigen aufnehmen wollte, was der Forschungsgeist der Gelehrten über alle die genannten Disciplinen bisher aufgefunden hat, und ich werde mich daher begnügen, nur die allerwichtigsten Thatsachen zusammenzustellen, um hierdurch eine allgemeine Uebersicht des Ganzen zu verschaffen.

M.

I. Bewegung der Erde um ihre Axe und im Weltraume.

Obgleich die frühern Astronomen sehr geneigt waren, die Erde als ruhend anzusehen und der Sonne eine Bewegung um die Erde beizulegen, so kann man doch jetzt aus dem im Art. *Weltsystem* anzuführenden Gründen mit Sicherheit behaupten, dafs die Erde ein Planet ist, und dafs sie nach genau eben den Gesetzen, wie die übrigen Planeten, Umläufe um die Sonne vollendet.

Die Erde ist unter den bekannten Planeten von der Sonne aus gezählt der dritte, indem Mercurius und Venus der Sonne näher sind, und daher *untere* Planeten heifsen: Mars, Ceres, Vesta, Juno, Pallas, Jupiter, Saturnus, Uranus, lau-

fen in grössern Bahnen um die Sonne und heissen *obere* Planeten.

Vermöge dieser Stellung im Planetensysteme sieht man von der Erde aus die untern Planeten immer ziemlich nahe bei der Sonne, an welcher sie bei der untern Conjunction so vorübergehen, dass sie uns näher als die Sonne sind, in der obern Conjunction gehen sie im entferntern Theile ihrer Bahn, jenseits der Sonne an ihr vorbei, die obern Planeten dagegen erscheinen uns zuweilen in Opposition mit der Sonne, und dieses ist der Zeitpunct, wo sie uns am nächsten sind; sie erscheinen in Conjunction mit der Sonne, wenn sie in dem entferntern Theile ihrer Bahn jenseits der Sonne sich befinden[1].

Die Bahn der Erde ist eine Ellipse, in deren einem Brennpuncte die Sonne steht. Die halbe grosse Axe dieser Ellipse, oder die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne, welche man vorzüglich aus den Beobachtungen des Vorüberganges des Venus vor der Sonne bestimmt hat[2], ist nach Enke's Berechnungen 20666800 Meilen, und wenn man alle vorhandenen Beobachtungen vergleicht, so kann man nach Enke behaupten, dass diese Entfernung nicht unter 20577649 und nicht über 20755943 Meilen betragen kann. Diese Entfernung ist ungefähr dem 12000fachen Durchmesser der Erde gleich, und wegen dieser geringen Grösse der Erde in Vergleichung gegen ihren Abstand von der Sonne, ist die Parallaxe der Sonne sehr geringe, nur 8",58.

Die elliptische Bahn der Erde ist nur wenig excentrisch; die Excentricität beträgt 0,016780 der mittlern Entfernung, und ändert sich abnehmend in hundert Jahren um 0,000042. Wegen dieses Abstandes der Sonne vom Mittelpuncte der Bahn, ist die Bewegung der Erde und folglich auch die scheinbare Bewegung der Sonne ungleich, der Unterschied zwischen der mittlern und wahren Anomalie kann bei der Erde nur höchstens 1° 55′ 22″ betragen, und dieses ist die grösste Mittelpunctsgleichung. Die Erde erreicht ihre Sonnennähe, wenn sie sich in der Länge =3 Zeichen 9° 35′ befindet, also am 10ten Tage nach dem Wintersolstitium, die Lage der Erdbahn aber ändert sich so, dass ihre grosse Axe ihre Stellung jährlich um 11¼ Sec. ändert; daher kömmt die Erde in jedem Jahre etwas später zur Sonnennähe.

---

1 S. *Aspecten*, *Opposition*, *Conjunction*.

2 S. *Durchgang*.

Die Bewegung der Erde in ihrer Bahn ist, nach den in den Art. *Bahn* und *Centralbewegung* angegebenen Gesetzen so bestimmt, dafs die beschriebenen Sectoren den Zeiten proportional sind, und hiernach wird die Stellung der Erde zu irgend einer gegebenen Zeit bestimmt.

Die ganze Umlaufszeit der Erde heifst ein Sonnenjahr, und zwar 1. ein siderisches Sonnenjahr = 365¼ Tage oder genauer = 365,256383 Tage diejenige Zeit, da die Erde vom Mittelpuncte der Sonne aus gesehen zu eben dem Sterne zurückkehrt, 2. ein tropisches Sonnenjahr = 365 Tage 5 Stunden 48′ 51¼″ die Zeit, da sie in Beziehung auf die Nachtgleichen einerlei Stellung wieder erlangt; 3. die anomalistische Umlaufszeit = 365 Tage, 6 Stunden 13′ 59″ [1]. Die Zeit, da die Erde zu einerlei Stellung in Beziehung auf die grofse Axe der Bahn zurückkehrt.

Wenn man die Gröfse der Bahn berechnet, welche die Erde durchläuft, so findet man, dafs die Erde täglich 355800 Meilen, oder stündlich 14800 Meilen, oder in 1 Minute 246 Meilen, in 1 Secunde 4,1 Meilen zurücklegt. Diese Geschwindigkeit von 93700 Pariser Fufs in 1 Sec. ist also ungemein viel gröfser, als alle Bewegungen, welche wir auf der Erde zu beobachten Gelegenheit haben.

Die Ebene, in welcher die Erde ihre Bewegung vollendet, ist fast unveränderlich, und die Ekliptik am Himmel bleibt daher fast völlig immer derselbe gröfste Kreis. Die Richtung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn geht nach der Ordnung der Zeichen, das ist, wenn ein Beobachter in der Sonne so aufrecht stände, dafs sein Kopf gegen den nördlichen Pol der Ekliptik gerichtet wäre, so sähe dieser die Erde in ihrer Bahn von der rechten Seite gegen die linke fortrücken.

Die Umdrehung oder Rotation der Erde um ihre Axe findet so statt, dafs die Umdrehungsaxe, mit sich selbst parallel bleibend, um die Sonne fortgeführt wird, während die sämmtlichen übrigen Puncte der Erde ihre täglichen Umläufe um diese Axe vollenden. Die Richtung der Umdrehung um die Axe ist ebenfalls nach der Ordnung der Zeichen, das heifst, wenn ein Beobachter im Mittelpuncte, der Erde, den Kopf gegen den Nordpol aufrecht gerichtet stände, und immer nach einem bestimmten Sterne, am besten im Aequator, blickte, so würde er die Ge-

1 In mittl. Zeit.

genstände auf der Erde (wenn man sich diese als ihm sichtbar dächte,) von der rechten zur linken Seite vorüber gehen sehen. Denken wir uns also eben den Beobachter, in eben der Stellung, aber sein Auge immer auf einen bestimmten Punct der Erde (den Chimborasso zum Beispiel) gerichtet, so bleiben die Sterne so hinter diesem Gegenstande zurück, daſs sie in Vergleichung gegen diesen Gegenstand von der linken nach der rechten Seite zu gehen scheinen; diese letztere Beobachtung ist der ganz ähnlich, welche wir über die scheinbare tägl. Bewegung der Gestirne anstellen, und es erhellet, warum die Sterne uns von Osten nach Süden und Westen fortzurücken scheinen, während die wahre Rotation der Erde die entgegengesetzte Richtung hat.

Die Zeit einer Umdrehung der Erde oder der Sterntag ist zu allen Zeiten gleich groſs gewesen und leidet gar keinen, für unsre Beobachtung bemerkbare Aenderung. Dieser Zeitraum würde daher das einfachste und beste Zeitmaſs abgeben, wenn wir nicht durch die Beziehung, in welcher wir mit der Sonne stehen, veranlaſst würden, nach mittlern Sonnentagen zu rechnen. In mittlerer Sonnenzeit ausgedrückt ist der Sterntag gleich 23 Stunden 56 Min. 4 Sec.

Die Geschwindigkeit, mit welcher jeder Ort auf der Erde, vermöge dieser Umdrehung fortgeführt wird, ist verschieden nach der Lage der Orte. Da nämlich die Pole der Erde gänzlich ruhen, und jeder Punct auf der Oberfläche der Erde einen Kreis um den Pol durchläuft, diese Parallelkreise des Aequators aber desto kleiner sind, je näher sie dem Pole liegen und dennoch alle Orte auf der Erde in gleichen Zeiten um die Erdaxe herumgeführt werden, so ist die Rotationsbewegung der dem Pole nahen Orte sehr langsam, die Bewegung der im Aequator liegenden Orte am schnellsten. Da wir den Umfang des Aequators in 360 Grade, jeden Grad in 15 Meilen, also jenen ganzen Umfang in 5400 Meilen theilen, und diese geographische Meilen nennen, so durchläuft ein Punct am Aequator vermöge der Umdrehung täglich 5400 Meilen, also stündlich 225 Meilen, in 1 Minute 85630 Pariser Fuſs, in 1 Secunde 1427 Par. Fuſs.

Die Lage der Erdaxe gegen die Ebene der Erdbahn ist nicht senkrecht, sondern weicht von der senkrechten um diejenige Gröſse, welche man die Schiefe der Ekliptik nennt, ab. Die Schiefe der Ekliptik beträgt jetzt 23° 27′ 42″ und nimmt jährlich um ½ Secunde ab. Diese Abnahme ist eine Folge der

Einwirkung der Planeten, besonders des Jupiter und der Venus auf die Erde. Obgleich aber die Neigung der Axe gegen die Ebene der Bahn sich im Laufe eines oder einiger Jahre nicht sehr viel ändert, so bedarf dennoch die Behauptung, daſs die Erdaxe während eines ganzen Umlaufs um die Sonne mit sich selbst parallel bleibe, eine kleine Correction. Die Erdaxe ist nämlich nicht immer genau gegen denselben Stern gerichtet, sondern während ihrer Neigung gegen die Ebene der Erdbahn unbedeutend geändert wird, rückt sie gegen die Ordnung der Zeichen fort. Diese, in einem Jahre nur sehr wenig betragende Aenderung der Stellung gegen die Sterne, bringt im Laufe vieler Jahrhunderte einen kegelförmigen Umlauf um den Pol der Ekliptik hervor, und obgleich der Pol des Aequators immer um etwa 23 Grade vom Pole der Ekliptik entfernt bleibt, so liegt er doch in verschiedenen Jahrhunderten in einer verschiedenen Länge[1]. Auſser dieser stetig fortgehenden Aenderung in der Lage der Erdaxe gegen die Sterne findet noch eine periodisch wechselnde, welche ihre Nutation, Wanken der Erdaxe, heiſst, statt; jene hängt von dem Einflusse der Sonne, diese von dem Einflusse des Mondes auf die sphäroidische Erde ab. Diese Aenderungen sind indeſs alle so klein, daſs man da, wo es nicht auf ganz strenge Bestimmungen ankömmt, sagen darf, die Erde bewege sich mit fast genau parallel bleibender Richtung der Axe fort[2].

Diese schiefe Stellung der Axe gegen die Ebene der Bahn ist die Ursache der Ungleichheit der Jahreszeiten. Befindet sich nämlich die Erde in demjenigen Theile ihrer Bahn, wo der nördliche Theil der Erdaxe gegen die Sonne hin geneigt ist, so haben alle Bewohner der nördlichen Hälfte der Erde längere Tage und sehen die Sonne höher über ihren Horizont heraufsteigen; dieses ist während unsers Sommers und am meisten am 21. Juni der Fall; wenn dagegen die Erde in dem entgegengesetzten Theile ihrer Bahn ist, wo das nördliche Ende der Erdaxe ihre Neigung von der Sonne abwärts hat, so sind unsre Tage am kürzesten, um den 21. Dec.[3].

---

1 S. *Präcession der Nachtgleichen.*

2 Ein Instrument, welches die Gesetze der Umdrehung der Erde um ihre Axe und die Gesetze der Veränderung der Lage der Erdaxe zu erläutern dient, hat Poisson angegeben, und v. Bohnenberger beschrieben in Gilb. Ann. LX. 60. Vergl. den Artikel *Rotation.*

3 S. *Jahreszeiten.*

Die Ursachen dieser doppelten Bewegung der Erde sind nur sofern, als sie ihren jetzigen Zustand betreffen, bekannt, von dem ersten Ursprunge der Bewegungen wissen wir nichts. Da die Erde einmal die Rotation um ihre Axe erhalten hat, so ergeben die Untersuchungen über die Einwirkungen der übrigen Weltkörper auf sie, dafs die Zeit einer Umwälzung hierdurch gar nicht, die Lage der Axe nur so wie es eben erwähnt ist, eine Aenderung leiden kann. Die Zeit einer Rotation könnte, da ein Niederfallen fremder erheblich grofser Massen auf die Erde als etwas sich nie Ereignendes anzusehen ist, und noch weniger ein Verlust an Masse möglich zu seyn scheint, nur dadurch eine Aenderung erleiden, wenn die ganze Masse der Erde eine merkliche Aenderung ihres Volumens erlitte. Würden alle Massentheilchen der Erde plötzlich oder allmälig der Axe der Erde mehr genähert, so würde, weil dadurch der gesammte Moment der Trägheit vermindert würde, die Rotationsbewegung schneller werden; und in dieser Ueberlegung ist die Behauptung von LAPLACE gegründet[1], dafs selbst seit den ältesten Zeiten, aus welchen wir Beobachtungen besitzen, die innere Wärme der Erde keine merkliche Aenderung können erlitten haben; denn mit einer Abnahme der Wärme ist bei allen uns bekannten Körpern eine Verminderung des Volumens verbunden; dadurch aber würde der Abstand der Theilchen von der Erdaxe vermindert und eine Aenderung der Umdrehungszeit bewirkt seyn, die sich, wenn sie statt gefunden hätte, in den ältern Beobachtungen, wenn man sie mit den neuern vergleicht, merklich machen müfste. Die Bewegung um die Sonne dauert ganz so fort, wie es den Gesetzen der anziehenden Kräfte gemäfs ist, und selbst die anscheinenden kleinen Abweichungen von der regelmäfsigen Bewegung lassen sich durch die Attraction, die vom Monde und den übrigen Planeten auf die Erde ausgeübt wird, vollkommen erklären. Welcher Stofs aber zuerst diese doppelte Bewegung hervorgebracht habe, darüber ist uns gar nichts bekannt, und die Beantwortung dieser Frage scheint jenseits der Grenzen zu liegen, welche uns bei unsern Forschungen gesetzt sind.

Wenn man die Erde von der Sonne aus beobachten könnte, so würde ihr scheinbarer Durchmesser nur $17\frac{1}{6}$ Secunde betragen; diese Bestimmung lehrt uns, da der scheinbare Durch-

---

1 Journ. de Phys. 1820. Avril.

messer der Sonne in der mittlern Entfernung von uns 32′ 2″ beträgt, daſs der Durchmesser der Sonne 112 mal so groſs als der Durchmesser der Erde ist, die Oberfläche der Sonne also 12544 mal so groſs als die Oberfläche der Erde ist; der körperliche Inhalt der Sonne 1404928 mal so groſs als der Inhalt der Erde.

Die anziehende Kraft der Erde ist in Vergleichung gegen die anziehende Kraft der Sonne nur geringe, und da wir die Masse der Himmelskörper auf keine andere Weise als nach Maſsgabe ihrer anziehenden Kraft abschätzen können, so finden wir die Masse der Erde $=\frac{1}{354790}$, und darnach in Vergleichung gegen den körperlichen Inhalt die Dichtigkeit der Erde = 3,96 mal so groſs als die Dichtigkeit der Sonne.

Die Erde hat, indem sie ihre Bahn um die Sonne durchläuft, den Mond zum beständigen Begleiter. Er ist ungefähr 60 Erdhalbmesser von ihr entfernt, und ändert seine Stellungen gegen die Erde so, daſs seine relative Bahn um die Erde eine Ellipse ist, deren Gestalt jedoch mehr Aenderungen leidet, als die Gestalt der Erdbahn [1].

Das Zeichen, womit man in der Astronomie die Erde bezeichnet, ist ♁. *B.*

II. Gestalt und Gröſse der Erde.

Die Erde erscheint nach einem ungeregelten Zeugnisse der Augen jedem Beobachter als eine *flache Scheibe*, auf welcher sich Hervorragungen und Vertiefungen befinden, und über welcher die sphäroidische Himmelskugel gewölbt ist. Befindet sich der Beobachter auf einer weit ausgebreiteten flachen Gegend, oder auf einem festen Puncte im unbewegten Meere, so erscheint ihm diese Ebene zwar sehr deutlich, allein eine gröſsere Aufmerksamkeit führt auch dann schon auf Erscheinungen, welche mit einer völlig waagerechten Fläche unvereinbar sind, nämlich das Verschwinden nicht hoher Gegenstände unter der scheinbaren Ebene, worauf sich der Beobachter befindet, und die Vertiefung entfernter hoher Berge, welche ohne die Krümmung der Beobachtungsfläche nach einer bekannten Augentäuschung vielmehr höher erscheinen müſsten, als sie wirklich sind. Es zeigt sich daher, wie wenig die ältesten Griechen,

1 S. *Mond.*

bei aller ihrer sonstigen Geistesbildung, Beobachtungen scharf aufzufassen, und als Grundlage zu sicheren Schlüssen zu benutzen das Talent hatten. Ein hauptsächlicher Grund aber, warum jene auch in späteren Zeiten bei weiteren Reisen auf der vermeintlich flachen Erde nicht zur Ueberzeugung von ihrer Krümmung gelangten, lag in dem Umstande, dafs ihre weitesten Reisen zur See nach Westen, zu Lande aber nach Osten gerichtet waren, wonach also der höhere und niedrigere Stand der nördlichen und südlichen Sterne über dem Horizonte weniger auffiel. Nach Homer und Hesiodus war also die Erde eine flache Scheibe rundum vom Strome *Okeanos* umflossen, mit welchem der ihnen bekannte Strom *Phasis* im fernsten Osten in *Kolchis* zusammenhing. Ueber die Länder im Norden von Griechenland und im Süden jenseits der Küsten von Syrien hatte man unvollständige Sagen, westlich aber wurde die Weltgrenze zwei Tagereisen jenseits Sicilien gesetzt[1].

Die Vorstellung von der Fläche des oberen Theiles der Erde wurde beibehalten, und mit andern Hypothesen über ihre Gestalt verbunden. Nach Thales von Milet sollte dieselbe auf Wasser schwimmen[2], welches sogar später noch Seneca wiederholt[3]. Anaximander dagegen dachte sich die Erde als einen Cylinder, dessen obere Fläche von den Menschen bewohnt, die untere aber unbewohnt sey. Dieser Cylinder sollte ferner ein Dritttheil seines Durchmessers zur Höhe haben, und in der Mitte des hohen Himmelsgewölbes deswegen frei schweben, weil kein Grund zu einer Bewegung weder nach der einen noch nach der andern Seite vorhanden sey. Anaximenes dagegen liefs die flache Erde durch comprimirte Luft getragen werden, Xenophanes aber gab ihr Wurzeln, die sich ins Unendliche erstrecken, zur Unterstützung. Leukipp, Demokrit, Heraklit und Anaxagoras blieben im Ganzen der Vorstellung Anaximander's über die Gestalt der Erde getreu[4], bis Plato nach phantastischen Philosophemen, aus den pythagoreischen Zahlencombinationen, sie für einen Würfel hielt, weil dieser

1 S. J. H. Vofs im Gött. Mag. St. 2. S. 297. und im N. deut. Mus. St. 8.

2 Arist. de Coelo. II. 13.

3 Q. Nat. VI. 6.

4 Diog. Laert. Vit. Phil. Lib. IX.

durch sechs gleiche quadratische, sämmtlich gleich weit von einander abstehende, Flächen eingeschlossen wird, welche wieder aus vier gleichen Seiten mit eben so viel rechten Winkeln bestehen. Indem sonach der Würfel sich als die vollkommenste Figur darstellt, so muſs diese auch der Erde, als dem Haupt- und Central-Körper der Welt eigen seyn[1].

Der erste, welcher richtigere Vorstellungen von der Kugelgestalt der Erde, oder mindestens von der Krümmung ihrer Oberfläche, gehabt zu haben scheint, auf allen Fall aber zur Begründung dieser richtigeren Vorstellung vieles beigetragen hat, war Eudoxus. Dieser, von den Vorurtheilen seiner Zeit freie Mann, welcher die Spitzfindigkeiten der Dialektik und die Künste der Sophistik durchschauete, die leeren und unnützen Phantasieen der herrschenden Schulen aber, welche von den geistesärmern Zeitgenossen als Philosopheme eines tiefdenkenden Geistes bewundert wurden, verachtete[2], dagegen aber ruhigen und besonnenen Beobachtungen einen höheren Werth beilegte, lernte auf seinen Reisen nach Aegypten und Griechenland und durch die Nachrichten von Reisenden die Oberfläche der Erde genauer kennen, beobachtete die verschiedenen Höhen der Sterne über dem Horizonte, und muſste als gelehrter und scharfsinniger Geometer hieraus auf die Krümmung der Erdfläche schlieſsen, indem es nicht wahrscheinlich ist, daſs er diese Erscheinung von einem Näherkommen zu jenen Sternen durch Reisen in südlicher oder nördlicher Richtung abgeleitet haben sollte. Obgleich daher Eudoxus nicht wagte, eine eigentliche Meinung über die Gestalt der Erde aufzustellen[3], weil er sich zunächst nur an die Erfahrung hielt, so ist es doch wahrscheinlich, daſs durch solche Beobachtungen die Vorstellung von der Kugelgestalt der Erde früher begründet wurde, als durch die Philosopheme des Aristoteles. Dieser argumentirte nämlich sehr scharfsinnig, die Erde müsse eine sphärische Gestalt haben, weil jedes Theilchen derselben vermöge seiner Schwere nach dem

---

1 Tiedemann Geist der specul. Philosophie. I. 121.

2 Vergl. Diog. Laert. VIII. 90. Cic. de div. II. 42.

3 Wenigstens ist dieses die Meinung des in diesen Gegenständen durchaus classischen Gelehrten J. K. Schaubach in Geschichte der griech. Astronomie bis auf Eratosthenes. Gött. 1802. 8. S. 257, welchem ich in dieser Uebersicht gefolgt bin.

Mittelpuncte getrieben werde, und da dieses allgemein sey, so müfsten die äufsersten einen gleichen Abstand haben, weil sie sonst herabgleiten würden, um das Gleichgewicht herzustellen[1]. Als weiteren Beweis führt er den Erdschatten auf dem Monde an, und das Emporkommen des *Canopus* über den Horizont, wenn man nach Cypern oder Aegypten reise. ARCHIMEDES[2] wiederholte später den angegebenen theoretischen Beweis des ARISTOTELES in Beziehung auf das Wasser der Erde, allein bei dem Verfall der Wissenschaften verlor sich die Kenntnifs von der Kugelgestalt der Erde, bis dieser Gegenstand in neueren Zeiten eigentlich wissenschaftlich behandelt wurde[3].

Zum Beweise der sphärischen Gestalt der Erde führt man den Schatten an, welchen sie bei Finsternissen auf den Mond wirft. Hiernach könnte sie indefs immerhin cylindrisch seyn, obwohl es etwas gezwungen scheinen müfste, ihr allzeit die hierzu erforderliche Richtung beizulegen. Weit sichrere Beweise liefern indefs das allmälige Emporkommen und Verschwinden der irdischen Gegenstände, nach welcher Richtung man sich auch auf der Erde bewegt, der Himmelskörper, wenn man von Süden nach Norden oder umgekehrt reiset, die regelmäfsig ungleichen Tagszeiten, in denen gleichzeitige himmlische Erscheinungen, z. B. Verfinsterungen der Jupiterstrabanten, an den verschiedenen Orten der Erde nach ihrer östlichen oder westlichen Lage wahrgenommen werden, und insbesondere die sogenannten Reisen um die Welt.

Wenn man die Leichtigkeit betrachtet, womit gegenwärtig die Erde umsegelt wird, so begreift man die Wichtigkeit kaum, welche den ersten Unternehmungen dieser Art beigelegt wurden. Dennoch verdienen die Namen derjenigen kühnen und beharrlichen Männer, welche jene gefahrvollen Versuche glücklich beendigten, und der Wissenschaft dadurch unschätzbaren Gewinn brachten, allerdings der Nachwelt aufbewahrt zu werden. Der erste war HERNANDO MAGALHAENS, ein Portugiese, welcher am 10ten Aug. 1519 mit spanischen Schiffen von Sevilla auslief, an der südlichen Spitze von America die lange Meerenge zwischen dem Continente und dem Feuerlande, die

1 Arist. de Coelo. II. 4.

2 De Insidentibus humido L. I. prop. 2. p. 225 ed. Nizze.

3 Vergl. Riccioli Almagestum nov. I. L. 2. cap. 1.

nach ihm benannte Straſse, entdeckte, durch diesen noch jetzt gefahrvollen Weg in die Südsee gelangte, hier leider zu weit nördlich segelte, daher keine der vielen Inseln dieses groſsen Oceans traf, und mit dem äuſsersten Mangel zu kämpfen hatte, endlich zu den Ladronen und dann den Philippinen gelangte, wo er auf der Insel *Sebu* am 26sten Apr. 1521 sein Leben verlor, als er einem Könige jener Gegenden in einem Gefechte Beistand leistete. Nur eins von seinen fünf Schiffen kam mit 18 Mann am 7ten Sept. 1522 nach einer stets westlich gerichteten Fahrt wieder in St. Lucar an. Die merkwürdigsten unter den folgenden Erdumseglern sind Francis Drake, ein Engländer von 1577 bis 16ten Sept. 1580; Thomas Candish, ein Engländer 1586—88; Jacob Mahu und Simon de Cordes, Holländer um 1598; Olivier de Noort, ein Holländer 1598—1601; Georg Spilberg, ein Deutscher auf holländischen Schiffen 1614—17; Jacob le Maire und Corn. van Schouten, Holländer 1615—17; Jacob l'Hermite und Hugo Schapenham, Holländer 1623—26; Cowley, ein Engländer 1683—86; William Dampier, ein Engländer 1683—91; Gemelli Careri, ein Italiäner, welcher nach Osten theils zu Lande theils zu Wasser eine Reise um die ganze Erde machte; Woodes Rogers, ein Engländer 1708—11; Eduard Cooke, ein Engländer 1708—11; Le Gentil de la Barbinair, ein Franzose 1714—18; Clipperton und Shelvoeke, Engländer 1719—22; Jacob Roggewin, ein Holländer 1721—23; George Anson, ein Engländer 1740—44; John Byron, desgleichen 1764—66; Samuel Wallis, desgleichen 1766—68; Philipp Carteret, desgleichen anfangs mit Wallis 1766—69; Bougainville, ein Franzose 1766—69; James Cook, einer der berühmtesten unter allen, ein Engländer a) mit Solander und Banks 1769—71; b) mit J. Reinhold und Forster Vater und Sohn 1775; c) mit Clarke und Gore 1776 bis 1779 den 14ten Febr., an welchem Tage er auf *O-Whyhee* erschlagen wurde; Fourneaux, ein Engländer 1772—74; Portlock und Dixon, Engländer 1785—88; Edwards, ein Engländer 1790—92; Etienne Marchand, ein Franzose 1790—92; George Vancouver, ein Engländer 1790—95; A. J. v. Krusenstern, ein Russe 1803—1806; O. v. Kotzebue, ein Deutscher auf einem Schiffe des Russischen Grafen Rumanzow 1815—1818; Freycinet, ein Franzose 1817—20;

endlich O. v. Kotzebue, welcher so eben von seiner zweiten Entdeckungsreise mit Russischen Schiffen zurückgekommen ist. Auch die Freibeuter Bowers 1679 und Peachox umschifften die ganze Erde, und ein Deutscher C. F. Behrens kam theils zu Wasser theils zu Lande um die ganze Erde[1].

Dafs die Erde ihrer runden Gestalt ungeachtet dem auf ihrer Oberfläche befindlichen Beobachter flach erscheint, ist eine Folge ihrer Gröfse, indem eine Kugelfläche um so weniger von einer ebenen abweicht, je gröfser der Halbmesser der Kugel ist, und bei einem unendlichen Halbmesser mit ihr zusammenfallen oder keinen mefsbaren Unterschied darbieten würde. Um dieses in Beziehung auf die Erde zu versinnlichen, darf man nur berechnen, dafs die Höhe eines Menschen von 6 F. nicht mehr als den 6543382ten Theil vom Durchmesser der Erde ausmacht, die Höhe des *Chimborasso* aber, wenn man ihn zu 20148 F. rechnet, nur den 1948,6ten Theil jener Gröfse; mithin würde letzterer auf einem Erdglobus von 6 F. Durchmesser verhältnifsmäfsig dargestellt nur 0,45 Lin., also nicht völlig eine halbe Linie hoch seyn dürfen. Wäre demnach die Erde vollkommen glatt, so würde ein auf ihrer Oberfläche stehender Beobachter auf einer kreisrunden Ebene von einer zur ganzen Erde verhältnifsmäfsig sehr geringen Ausdehnung zu stehen wähnen, auf deren Rande das unbestimmt entfernte Himmelsgewölbe zu ruhen scheinen müfste, wie dieses auf völlig ruhiger See auch wirklich der Fall ist. Je höher sich der Beobachter über die Oberfläche der Erde erhebt, um so viel gröfser wird die von ihm übersehene Ebene werden, und um so mehr wird sie ihm gekrümmt erscheinen. Dafs es aber nicht leicht oder vielmehr unmöglich war, auf diese Weise die Kenntnifs von ihrer kugelförmigen Gestalt zu erlangen, davon überzeugt sehr bald die Betrachtung, dafs in einer Höhe von 10000 F. nur ein Bogenstück von nicht völlig 3,6 Graden, in 365 geographischen Meilen Höhe nur 90 Grade und bei einer Erhebung von 4090 M. nur 160 Grade übersehen werden[2].

---

1 J. M. Franz Abh. von der bekannten und unbekannten Welt. Nürnb. 1762. 8. Lehrbuch der mathematischen Geographie von Fr. Kries. Leipz. 1814. 8. S. 16. Collection de tous les Voyages faits autour du monde par les differentes nations de l'Europe. Par Berenger. Laus. et Par. Nouv. Ed. 1795. 10 Vol. 8.

2 Kries a. a. O. S. 7.

Um allgemein zu finden, wie weit in der Ebene liegende Gegenstände von einem Berge herab, oder Berge aus der Ebene, gesehen werden, oder wie weit die sichtbare Horizontalfläche sich bei einer gegebenen Erhöhung erstreckt, dient folgende Betrachtung. Ist C das Centrum der Erde, a g eine Erhöhung auf der Oberfläche derselben, g b d eine die Oberfläche der Erde in b berührende Linie, so wird man, ohne Rücksicht auf die Strahlenbrechung, von g bis b und umgekehrt sehen können. Es ist aber im rechtwinklichen Dreieck g b C; b c : g C = cos. x : rad. Nimmt man den Radius des Kreises als Einheit, nennt g a = h und berücksichtigt, daſs b C = a C der Halbmesser der Erde = r ist, so erhält man $\text{Cos. } x = \frac{r}{r+h}$, woraus für einen gegebenen Werth von h der Bogen b a gefunden wird. Indem aber auf einen Grad der kugelförmig gedachten Erde nahe genau 15 geographische Meilen gehen, so können hiernach folgende einander zugehörige Werthe gefunden werden[1].

Fig. 169.

Höhe in par. Fuſs		Aussicht in geogr. Meil.	Höhe in par. Fuſs		Aussicht in geogr. Meil.
100	—	2,75	4500	—	18,40
200	—	3,88	5000	—	19,40
300	—	4,75	6000	—	21,25
400	—	5,50	7000	—	22,96
500	—	6,17	8000	—	24,50
1000	—	8,66	9000	—	26,04
1500	—	10,62	10000	—	27,44
2000	—	12,30	12000	—	30,06
2500	—	13,72	14000	—	32,50
3000	—	15,04	16000	—	34,70
3500	—	16,25	18000	—	36,80
4000	—	17,36	20000	—	38,80

Daſs sich die zwischen liegenden Werthe durch eine einfache Interpolation finden lassen, darf kaum erwähnt werden. Eben so zeigt der bloſse Anblick der Figur, daſs auf gleiche Weise die Entfernung g d gefunden wird, in welcher von einer Erhöhung g a eine andere Erhöhung d e gesehen wird, wenn der Lichtstrahl die Oberfläche der Erde in b berührt. Wären z. B.

1 S. Kries a. a. O. p. 40.

beide Erhöhungen gleich, so würde man bis zur doppelten Entfernung sehen können, auch darf nur im Allgemeinen bemerkt werden, dafs die Strahlenbrechung die Weite der Aussicht vergröfsert. Fälle dieser Art finden sich in der Erfahrung unzählig. So ist der Berg MONGO in Spanien 727 Meter (2238 P. F.) hoch, und wird auf 20 franz. (12 geogr.) Meilen weit von der See aus als kleine Insel gesehen, und von diesem Berge aus sieht man die Inseln *Formentera* und *Ivica*, welche vom Ufer ab nicht sichtbar sind, als kleine Puncte im Horizonte. In Mexico sieht man nach v. HUMBOLDT den stets beschneieten Gipfel des *Orizaba* auf 60 franz. Meilen weit, und ein Beobachter auf der Spitze desselben würde daher einen Horizont von gleichem Halbmesser übersehen[1].

Seitdem die Gestalt der Erde etwas genauer bekannt war, wählte man gewisse Bezeichnungen, welche, meistens von der hohlen Himmelskugel entlehnt, auf die Erde, als Kugel angenommen, übertragen wurden, um sich auf derselben zu orientiren. Da diese sämmtlich einzeln genauer erörtert werden[2], so wird es genügen, sie hier nur kurz namhaft zu machen, damit die nachfolgenden vielfachen Beziehungen auf dieselben gröfsere Deutlichkeit erhalten.

Da die Erde sich umdrehet, so mufs die durch ihr Centrum gehende Linie, um welche diese Drehung statt findet, ihre *Axe*, und deren Enden ihre *Pole* genannt werden, wovon der eine, nach Norden gerichtete, der *Nordpol*, der andere, nach Süden gerichtete, ihr *Südpol* heifst. Derjenige gröfste Kreis, welcher allerorten von beiden Polen 90 Grade absteht, heifst der *Aequator*, der *Gleicher*, die *Linie*[3], und der Durchmesser dieses gröfsten Kreises wird der *Erddurchmesser* genannt. Mit diesem Aequator parallel laufen Kreise, welche nach den Polen hin zunehmend kleiner werden müssen. Man nennt sie *Parallelkreise* oder schlechtweg *Parallele*, und zeichnet sie auf den Erdgloben meistens so, dafs sie auf den rechtwinklich von ihnen geschnittenen Meridianen von 10 zu

---

1 Biot Traité élémentaire d'Astronomie physique sec. ed. Par. 1810. 3 Vol. 8. I. p. 19.

2 Vergl. die hierher gehörigen einzelnen Artikel.

3 Vergl. *Aequator*. Th. I. S. 213.

10 Graden abstehen, in der Vorstellung aber denkt man sich durch jeden gegebenen Ort auf der Erdoberfläche einen solchen Parallelkreis, dessen Abstand vom Aequator in Theilen des zwischen beiden liegenden Bogens nach der Kreistheilung gemessen wird. Indem aber auch die *geographische Breite*[1] auf gleiche Weise gemessen wird, so fallen beide zusammen und alle auf dem nämlichen Parallel liegende Oerter haben daher auch eine gleiche geographische Breite, wodurch die Lage derselben rücksichtlich ihres Abstandes vom Pole oder vom Aequator bestimmt ist. Minder scharf ist folgende Bestimmung. Wenn man durch diejenigen Puncte, wo die Sonne bei ihrer gröſsten nördlichen und südlichen Abweichung im Zenith steht, einen Parallelkreis vom Himmel auf die Erde überträgt, so erhält man die *Wendekreise*, und wenn man in einem gleichen Abstande von den Polen, als der Abstand dieser Kreise vom Aequator beträgt, gleichfalls zwei Parallelkreise zieht, so nennt man diese *Polarkreise*, durch welche vier Kreise die Oberfläche der Erde in fünf *Kugelzonen* oder *Erdgürtel* getheilt wird, die sich durch die Länge und Kürze der Tage sowohl, als auch durch ihre ungleiche klimatische Beschaffenheit auffallend von einander unterscheiden.

So wie durch die genannten Parallelkreise oder die geographische Breite die Lage eines jeden Ortes auf der kugelförmig gedachten Erde rücksichtlich auf die Pole und den Aequator genau bestimmt ist, eben so muſs dieses auch in einer hierauf lothrechten Richtung der Fall seyn. Um dieses zu erreichen, dienen die schon erwähnten *Meridiane*, oder gröſste Kreise, welche durch beide Pole und jeden gegebenen Ort gezogen, den Aequator rechtwinklich schneiden. Sie sind nach der Kreiseintheilung in Grade, Minuten und Secunden in der Art getheilt, daſs sie aus vier Quadranten bestehen, deren jeder mit 0° im Aequator anfängt und mit 90° in einem der beiden Pole endet. Diese Eintheilung ist dadurch begründet, daſs die Erdaxe eine unveränderliche Richtung gegen das Himmelsgewölbe und die daran befindlichen Sterne hat, und hierdurch verlängert zur Weltaxe wird, um welche sich die hohle Himmelskugel scheinbar umwälzt. Der Aequator dagegen, und somit auch die ge-

1 Vergl. *Breite* Th. I. S. 1196.

sammten Parallelkreise, sind fortlaufend als ganze Kreise nach der bei dieser üblichen Theilung getheilt, und es würde also jeder Punct auf der Oberfläche der Kugel durch diese beiden sich rechtwinklich schneidenden Coordinaten bestimmt seyn, wenn nur irgend ein fester Anfangspunct im Aequator vorhanden wäre, von welchem an nach der einen oder der andern Seite hin die Grade und deren Theile im Aequator gezählt werden könnten, d. i. wenn der *erste Meridian* bestimmt wäre.

Es ist in der That etwas Auffallendes, dafs bei der sonstigen aufserordentlichen Schärfe und Bestimmtheit in der Mathematik und Geometrie über den ersten Meridian so viele Unbestimmtheit herrscht. Die Ursache hiervon liegt theils in einer mit dieser Sache an sich verbundenen Willkür, theils und hauptsächlich aber darin, dafs die seefahrenden Nationen es bequem fanden, die astronomischen Längenbestimmungen auf vorzüglich besuchte Häfen oder eigene bedeutende Sternwarten zu reduciren. Hierdurch ist indefs einmal eine grenzenlose Verwirrung in diese Sache gekommen, wovon ein sprechender Beweis schon dadurch gegeben wird, dafs die spanischen Charten allein nach 7 verschiedenen ersten Meridianen graduirt sind, nämlich *Cadix*, *Carthagena*, *Insel Leon*, *Collegium der Adligen zu Madrid*, *Punta de la Galera* auf Trinidad, *Teneriffa* und *Ferro*[1]. Die am meisten vorkommenden ersten Meridiane sind der von *Ptolemäus* angenommene, welcher durch die Canarischen Inseln geht[2], und bestimmter der durch die Insel *Ferro*, welcher die alte und neue Welt trennt, oder eigentlicher die Grenze der ehemals bekannten Erdtheile bildet, und daher gegenwärtig seine Bedeutung verloren hat. Verschiedene Landcharten aber, welche von diesem ersten Meridiane an graduirt sind, geben die Lage dieser Insel unrichtig an, z. B. Doppelmair setzt sie 22°,5 westlich von Paris. Der Cardinal Richelieu berief 1634 eine Gesellschaft Mathematiker zusammen, um den ersten Meridian zu bestimmen, und diese nahmen den durch *Ferro* gehenden an, welchen de l'Isle zu 20° westlich von Paris bestimmte[3]. Inzwischen wird die Lage von

1 V. Zach in Monatl. Corr. XVIII. 317.

2 La Place Exposition du Système du Monde 5me ed. Par. 1824. 2 vol. 8. I. 129.

3 J. T. Mayer prakt. Geom. IV. 93.

Ferro verschieden angegeben, und wenn Paris 20° östlich vom ersten Meridiane liegen sollte, so würde dieser nicht auf die Insel Ferro selbst, sondern westlich zwischen diese und die Insel Gomera in die See fallen[1]. Man nimmt indefs bei einiger hierüber noch obwaltenden Ungewifsheit im Mittel an, dafs Paris 20° östlich vom ersten Meridiane liege.

Einige Portugiesische Charten setzen den ersten Meridian auf die azorische Insel *Terzera*, weil daselbst zu jener Zeit die magnetische Linie ohne Abweichung war[2], und deren Lage 9° 32′ 42″ westlich von Ferro angegeben wird. Auf manchen älteren holländischen Charten geht derselbe durch die *Insel dell Fuego* oder *St. Philipp* beim grünen Vorgebirge. MERCATOR wählte hierzu die azorische Insel *Corvo*, weil seiner Zeit die magnetische Linie ohne Abweichung auf dieselbe fiel. In den neuesten Zeiten ist es am gebräuchlichsten, den *Meridian von Ferro* beizubehalten, aber so dafs Paris 20° östlich von demselben angenommen wird, oder der erste Meridian wird durch die Pariser Sternwarte gelegt. Letzteres findet man auf den neuesten französischen und auf verschiedenen deutschen und italienischen Charten, die englischen dagegen haben den *Meridian von Greenwich* 2° 20′ 15″ westlich von Paris als ersten Meridian, auch rechnen die Engländer zuweilen die Länge von London an. Sonst dienen auch die Meridiane berühmter Sternwarten, z. B. *Kopenhagen*, *Göttingen*, *Berlin*, *Mailand* u. a. m. als Normalpuncte dieser Bestimmung.

Man hat vielfach und mit vollem Rechte bedauert, dafs sich in diese Bestimmung ein solcher Mangel an Einheit eingeschlichen hat, und es wäre sehr zu wünschen, dafs LA PLACE's Vorschläge allgemein beachtet und befolgt würden[3], so wenig auch Nationalstolz und eine etwas gröfsere Bequemlichkeit der Berechnung und Orientirung für die Seefahrer dieses hoffen läfst. Zwei Puncte hat dieser hierzu vorgeschlagen, wovon der eine

---

1 Monatl. Corr. XVI. 58.

2 Vergl. *Abweichung, magnetische.*

3 Syst. du Monde a. a. O. „Il est à désirer, que tous les peuples de l'Europe, au lieu de rapporter au méridien de leur premier observatoire, les longitudes géographiques, s'accordent à les compter d'un même méridien donné par la nature elle-même, pour le retrouver surement dans tous les temps.

grofse Bequemlichkeit für die europäischen Seefahrer gewährt, der zweite eine höhere kosmische Bedeutung hat, nämlich entweder den *Pico di Teneriffa* 18° 50′ 54″ westlich von Paris, welcher sehr kenntlich ist, weithin gesehen wird, den meisten nach Südamerica, dem Cap und Ostindien segelnden Schiffen zum Merkmale und Anhaltspuncte dient, und ohnehin als erster Meridian auf verschiedenen grofsen holländischen Charten angenommen ist; oder diejenige Linie, welche durch die grofse Axe der Sonnenbahn gegeben wurde, als diese auf die Linie der Tag- und Nachtgleichen normal war. Die Epoche, worin dieses sich ereignete, fällt in 1250 unserer Zeitrechnung, und würde den ersten Meridian 166° 46′ östlich von Paris geben[1].

Noch eine andere Unbestimmtheit in der Bezeichnung der Länge zeigt sich darin, dafs man vom ersten Meridiane an, wohin derselbe auch gesetzt wird, die Längen bald nach Osten bald nach Westen hin zählt. Indefs ist doch so viel als Regel festgesetzt, dafs bei einer mangelnden Bestimmung hierüber unter der Länge schlechtweg die östliche verstanden wird. Endlich mufs die Bezeichnung der Länge und Breite auf einer Kugel etwas auffallend seyn. Sie erklärt sich indefs bald aus den Vorstellungen der Alten, denen ein weit ausgedehnterer Theil der Erdoberfläche in östlicher und westlicher Richtung bekannt war als in nördlicher und südlicher, und welche daher nach jener die Länge und nach dieser die Breite der Länder bezeichneten; begründet ist aber diese Bestimmung durch Strabo, welcher vom äufsersten Süden bis zum äufsersten Norden 29700 Stadien, vom äufsersten Westen bis zum äufsersten Osten aber 70000 Stadien annahm.

A. Gestalt und Gröfse der Erde nach Gradmessungen.

Sobald man sich seit Aristoteles von der runden Gestalt der Erde überzeugt hatte, fand man ohne Schwierigkeit, dafs sie sehr grofs seyn müsse; wie grofs sie aber seyn möge, dieses konnte aus begreiflichen Gründen weder so leicht noch so bald gefunden werden, und ist erst in den neuesten Zeiten mit einem sehr hohen Grade der Bestimmtheit ausgemittelt. Aristoteles

---

1 Mon. Cor. XVIII. 318.

selbst[1] giebt an, die Mathematiker vor ihm hätten den Umfang der Erde zu 400000 Stadien gefunden, erwähnt jedoch nicht, worauf diese Bestimmung gegründet ist[2]. ARCHIMEDES[3] dagegen erwähnt beiläufig, einige Geometer hätten zu beweisen gesucht, der Umfang der Erde betrage nahe 300000 Stadien. Die älteste eigentliche Messung scheint die von ERATOSTHENES gewesen zu seyn, welche ihre Unvollkommenheit als Folge der gebrauchten mangelhaften Hülfsmittel durch sich selbst genugsam beurkundet. Er sowohl als auch POSIDONIUS nach ihm bedienten sich zur Messung der Sonnenhöhen einer kreisförmig gebogenen kupfernen Schüssel (σκάφη) mit einem lothrechten Stifte, von dessen Spitze ein begrenzter Schatten auf die getheilten Kreise der Schüssel fiel und zur Messung der Bogen diente. ERATOSTHENES (geb. 276 J. v. C. G.) wuſste, daſs das Bild der Sonne bei ihrem höchsten Stande sich auf der Wasserfläche tiefer Brunnen in *Syene* spiegeln, dort daher im Zenith stehen müsse, zu gleicher Zeit aber machte der Schatten der Sonne in Alexandrien mit dem verticalen Stifte einen Winkel, welcher den funfzigsten Theil des Kreises betrug, also 7° 12′, und dieses muſste die Gröſse des zwischen beiden Oertern liegenden Bogens der kugelförmigen Erde seyn. Die Gröſse dieser Entfernung maſs er nach den (nicht so ganz ungenauen) Reiseberichten der Caravanen, und setzte ihn zu 5000 Stadien, welches den Umfang der Erde = 250000 Stadien giebt[4]. Wenn man diese Angabe danach corrigirt, daſs beide Oerter nicht unter dem nämlichen Meridiane liegen, so erhält man für den Umfang der Erde höchst genau 5408,4 geograph. Meil., nach ERATOSTHENES selbst aber beträgt diese Gröſse 5813 geogr. Meil[5]. PLINIUS nennt diese ganze Bestimmung ein „*ausum improbum, sed ita subtili ratione comprehensum, ut pudeat non credere*,“ findet aber für den Umfang der Erde 6562 g. M., vermuthlich weil die meisten älteren Angaben noch gröſser waren, nämlich nach ARISTOTELES 9302 g. M., nach ARCHIMEDES 6976 g. M.;

1 De Coelo. cap. 14.

2 Montucla Hist. des Math. I. 240.

3 De num. aren. §. 2. p. 212. ed. Nizze.

4 Vergl. CLEOMEDES Theoria cyclica. Basil. 1547. 8. cap. 10. Plin. H. N. II, 108.

5 Schaubach a. a. O. 280. Montucla. a. a. O. I. 242. Laplace Syst. du Monde 3me ed. p. 338.

auch soll HIPPARCH (um 160 v. C. G.) nach der Angabe des PLINIUS[1] die Messung des ERATOSTHENES revidirt und hiernach den Umfang der Erde größer gefunden haben. Als eigentliche Messung ist erst später die des POSIDONIUS bekannt, welcher bemerkte, daſs der Stern Canopus in Rhodus beobachtet gerade über den Horizont kam, in Alexandrien aber sich um den 48sten Theil des Kreises, also 7° 30′ über denselben erhob. Die Entfernung beider Oerter schätzte er auf 5000 Stadien, und gab also der ganzen Erde einen Umfang von 240000 Stadien[2], welches 5580 g. M. beträgt. Nach einer andern Nachricht giebt er jenen zu 180000 Stadien an, welche etwa 4185,6 g. M. gleichzusetzen sind, die kleinste Angabe, welche sich überhaupt bei den Alten findet[3]. Die letztere Angabe hat auch PTOLEMÄUS als das Resultat der genauesten Messungen aufgenommen, indem er die Länge eines Grades zu 500 Stadien setzt, und dabei ganz richtig bemerkt, daſs es nicht nöthig sey, die Messungen im Meridian selbst vorzunehmen, weil es genüge, den gemessenen Bogen nur auf diesen zu reduciren[4].

In den rohen Zeiten der Barbarei ging sogar die Kenntniſs der Kugelform der Erde wieder verloren[5], viel weniger konnte die eigentliche Gestalt derselben ein Gegenstand wissenschaftli-

---

1 H. N. L. II. cap. 69. sqq.

2 Montucla. I. 269.

3 S. Ideler in Mon. Cor. XXIII. 453.

4 Geogr. I. 3 u. VII. 5. Die Bestimmungen der Alten bleiben für immer ungewiſs, weil die Gröſse der Stadie nicht mit genügender Gewiſsheit ausgemittelt werden kann. Die Bemühungen von FRERET, DE BROSSES, DE L'ISLE, CASSINI, BUACHE, D'ANVILLE, LE ROY, DE LA LANDE, BAILLY, MONTUCLA, SCHAUBACH u. a. um diese Bestimmungen übergehe ich mit Stillschweigen.

5 Einen Beweis hiervon liefern LUCRETIUS CARUS, LACTANTIUS u. a., indem sie diejenigen verlachen, welche das Gesetz der Schwere u. dgl. zu vertheidigen sich getrauen. Selbst STRABO scheuet sich, die Behauptung von der kugelförmigen Gestalt der Erde genügend zu beweisen, führt aber die Aussagen derer an, welche das Zischen der Sonne bei ihrem Eintauchen in das Meer gehört haben wollten, und VIRGIL, der Erzbischof von Salzburg, wurde vom Pabste ZACHARIAS abgesetzt und zur Pönitenz nach Rom berufen, weil er behauptet hatte, es gäbe Gegenfüſsler. Die letzten Spuren einer solchen Einfalt zeigten sich in den Einwürfen, welche man dem COLUMBUS machte. Vergl. LACTANTIUS L. III. cap. 24. AUGUSTINUS Civ. D. Lib. 16 u. a.

cher Untersuchungen werden. Bekanntlich blüheten indeſs die untergegangenen Wissenschaften der Griechen eine kurze Zeit hindurch wieder auf bei den Arabern, und es ist merkwürdig, daſs die Frage über die Gröſse der Erde unter diesen rohen Barbaren zu allererst der Gegenstand einer genaueren Messung wurde. Der Chalif Al Mamum nämlich lieſs 827 n. Ch. G. mehrere Mathematiker nach *Bagdad* kommen, um eine Gradmessung zur Bestimmung der Gröſse der Erde vorzunehmen. Zwei Abtheilungen derselben maſsen im genau bestimmten Meridian nach beiden Seiten nördlich und südlich einen Bogen der Erde in der Wüste *Singar* am arabischen Meerbusen, jeden in der Ausdehnung eines Grades, und fanden diesen die eine 56, die andere $56\frac{2}{3}$ ihrer Meilen lang. Schon diese Ungleichheit beweiset genugsam den Mangel der Genauigkeit der ganzen Messung, deren Resultate auſserdem wegen der Unbestimmtheit des gebrauchten Maſses für uns gänzlich verloren sind. Die letztere Angabe wurde als die richtigere angenommen, und soll dabei nach Abulfeda die sogenannte schwarze Elle zu 27 Z. jeder von der Länge, welche 6 mit den Bäuchen an einander gelegte Gerstenkörner einnehmen, gebraucht seyn. Hiernach bringt Thevenot nach seinen Versuchen, die Gröſse dieser Elle wieder aufzufinden, heraus, daſs 4 Ellen 1 Toise 9 Z. betragen, wonach die Gröſse eines Grades 63750 Toisen seyn würde. Montucla will durch die Anwendung der gemeinen Elle 56666 Tois. herausbringen, welches der Wahrheit alledings näher käme. Der Araber Abu Hassan Ali Almassoudi rechnet nur 5 Gerstenkörner auf einen Zoll, und bringt dann 53123 Tois. heraus. Die beiden letzteren Gröſsen sind zu klein, wogegen die erstere zu groſs ist.

Daſs man sich im Mittelalter um die Beantwortung der vorliegenden Frage überall nicht bekümmerte, ist aus der herrschenden Uncultur mehr als zu leicht erklärlich, indeſs beweiset es sehr für die Wichtigkeit, welche man allezeit diesem Probleme beilegte, daſs mit dem 16ten Jahrhunderte sogleich nach der Wiederaufnahme der Wissenschaften die Untersuchungen über die Gestalt und Gröſse der Erde wieder angefangen wurden. Der als Mathematiker berühmte Arzt Fernel maſs mit groſser Mühe vermittelst der Umdrehungen eines Wagenrades im J. 1525 einen Grad der Breite zwischen Paris und Amiens, und fand dessen Länge = 57070 Toisen, ein Resultat, wel-

ches nicht völlig erwiesen ist, sonst aber eine solche Genauigkeit hat, daſs man sie mindestens zum gröſsten Theile dem Zufalle beimessen muſs[1].

Alle bisherigen Messungen wurden dadurch sehr erschwert, daſs der gemessene Bogen durchaus genau im Meridiane liegen sollte, obgleich schon Ptolemäus bemerkt hatte, daſs dieses keineswegs erforderlich sey. Indeſs war der niederländische Geometer Willebrord Schnellius der erste, welcher zeigte, wie die Länge des gesuchten Bogens durch Verbindung mehrerer Dreiecke, also durch eine eigentliche Triangulirung genau gefunden werden könne. Nach dieser Methode maſs er 1615 einen Bogen von 1° 11′ 30″ zwischen Alcmar und Bergen-op-Zoom, und fand hieraus die Länge eines Grades = 55021 Toisen[2]. Picard's Messung zeigte nachher, daſs diese Bestimmung viel zu klein sey[3], allein Musschenbroek versichert, daſs Schnellius seinen Irrthum selbst eingesehen, die Messung verbessert, noch weiter bis Malinos ausgedehnt, und hiernach die Gröſse eines Grades = 57033 Toisen gefunden habe, welches allerdings ein sehr genaues Resultat seyn würde, an dessen Bekanntmachung ihn der Tod hinderte[4]. Bloſs aus einer Nachricht Picard's ist eine Messung bekannt, welche G. J. Bleau oder Cäsius gleichfalls in den Niederlanden anstellte. Picard sah die Papiere dieser Messung auf seiner Reise nach Uranienburg in den Händen eines Verwandten dieses Bleau, welcher 1638 starb, ein Schüler Tycho's war, die Polhöhen der Endpuncte mit einem 12 füſs. Sector von 12° bestimmte, und vortreffliche Resultate erhielt. Die ganze gemessene Strecke wich nur 60 rheinl. Fuſs von Picard's Bestimmung ab. Eine sehr mühsame Messung ist diejenige, welche Norwood 1635 in England anstellte, indem er den Bogen zwischen London und York vermittelst der Kette maſs, die Krümmungen und Erhöhungen reducirte, den Unterschied der Breite des Anfangs- und Endpunctes, vermittelst eines 5 füſs. Sectors = 2° 28′ fand, und hiernach die Länge eines Grades = 57424 Tois. bestimmte.

---

1 La Lande in Mém. de l'Acad. 1787. p. 216.

2 Eratosthenes Batavus u. s. w. L. Bat. 1617. 4.

3 Cassini in Mém. de l'Acad. 1702. p. 60.

4 Musschenbroek diss. de Magnit. Terrae. In diss. phys. Lugd. Bat. 1729. 4.

Ungleich schlechtere Resultate erhielten Riccioli und Grimaldi bei ihren Bemühungen, die Gröfse der Erde zu finden. Der erstere insbesondere glaubte im Voraus, die Länge eines Grades müsse 81000 röm. Schritte betragen, und er summirte daher alle Fehler so sehr zusammen, dafs er dieselbe = 62650 Tois. fand[1].

Der grofse Mangel an Uebereinstimmung machte die Lösung dieser Frage noch wichtiger und interessanter, weswegen denn die neuerrichtete Akademie der Wissenschaften in Paris dem damals berühmten Geometer Picard die Anstellung einer genauen Messung übertrug. Bei der Ausführung derselben befolgte dieser die Methode des Schnellius, und brachte zuerst Fernröhre mit Kreuzfäden auf den Winkelinstrumenten an. Im Jahre 1669 und 70 mafs er den Bogen zwischen *Amiens* unter 49° 54′ 46″ N. B. und *Malvoisine* unter 48° 31′ 48″, fand den Unterschied der Polhöhen = 1° 22′ 58″ und die Länge eines Grades = 57060 Toisen[2]. Nach dieser Angabe wurde die Gröfse der Erde bestimmt, und bei den Berechnungen von Huygens und Newton zum Grunde gelegt, worauf insbesondere der Letztere das Gesetz der allgemeinen Schwere gründete, auf welches er die Bewegung der Himmelskörper, überhaupt die ganze Mechanik des Himmels zurückzuführen suchte. Um zugleich den eigentlichen Standpunct, aus welchem diese Gegenstände damals betrachtet wurden, bestimmter aufzufassen, darf hierbei nicht unbeachtet bleiben, dafs Newton erst 1666 seine Untersuchungen der Gravitationsgesetze anfing, und gestützt auf die Resultate der Messungen Picard's 1676 ernstlicher fortsetzte[3]. Man hatte also damals noch keineswegs deutliche Begriffe von der Schwungkraft, und war zum Theil noch geneigt, den Umlauf der Himmelskörper aus den Wirbeln des Aethers zu erklären, so dafs es bei der angestellten Gradmessung also zunächst nur darauf ankam, die eigentliche Gröfse der Erde genau kennen zu lernen. Es war daher ein wichtiges Ereignifs, dafs Richer in *Cayenne* die Beobachtung des langsameren Ganges seiner Uhr machte, welches man zwar anfangs

---

1 S. Montucla a. a. O. II. 315.

2 Mésure de la Terre par Picard. Par. 1671. 8. Hist. de l'Ac. I. 85. vorzüglich VII. 1 ff.

3 Vergl. *Anziehung*. Th. I. S. 326.

aus einer Verlängerung des Pendels durch die Wärme ableitete, bald aber fand, daſs die hiernach zu machende Correction nicht hinreiche, das Phänomen zu erklären, und als Varin und Deshayes die nämliche Erscheinung an der africanischen Küste unter dem Aequator beobachteten, stellten Huygens und insbesondere Newton die Behauptung auf, es sey dieses eine Folge der durch die Rotation der Erde erzeugten Schwungkraft[1]. Wäre dieses zugestanden, so wäre damit zugleich das Gravitationsgesetz vollständig angenommen, und die Anhänger des Cartesius hätten ihr System aufgeben müssen, allein es dauerte noch über ein halbes Jahrhundert, bis dieser Sieg der Newtonianer, welchen vorzüglich Gregory, Keill, Maclaurin, Stirling, auch Hermann und Kraft führten, völlig errungen war.

Picard fand seine Messung selbst noch nicht genügend, und bei dem damals in Frankreich herrschenden wissenschaftlichen Streben wünschte er selbst nebst vielen andern eine genaue Charte von jenem Lande zu erhalten. Er schlug daher vor, die Messung im Meridiane von Paris durch ganz Frankreich auszudehnen, um hierdurch zugleich die wahre Gröſse und Gestalt der Erde zu finden. Der Minister Colbert, unsterblich durch seine Verdienste um Wissenschaft und Kunst, unterstützte das Vorhaben, welches auch wirklich durch Cassini und de la Hire 1680 angefangen wurde, allein Colbert's Tod und andere Hindernisse führten eine Unterbrechung herbei, und so folgte die Fortsetzung desselben erst 1700 durch Cassini den Zweiten und de la Hire. Aus der von Paris bis an die südliche Grenze des Reiches nach Collioure, also von 48° 50′ 10″ bis 42° 31′ 13″ ausgedehnten Messung[2] ergab sich die Gröſse eines Grades = 57097 Toisen nach Cassini, Maraldi, Couplet und Chazelles, und aus der von Paris bis Dünkirchen durch Cassini, Maraldi und den jüngeren la Hire vollendeten = 56960 Toisen, woraus also *gegen* Newton's theoretische, auf das Gesetz der allgemeinen Schwere und der Schwungkraft gestützte Behauptung eine gröſsere Länge der Erdaxe als des Erddurchmessers gefolgert wurde[3]. Daſs eben diese Meinung noch

1 Montucla. II. 576.

2 Hist. de l'Acad. 1718. p. 187. 1716. p. 245.

3 Eine ausführliche Beschreibung aller bis dahin gemachten Ver-

aufserdem durch Cassini's erste Messung von Längengraden unterstützt wurde, mag hier nur vorläufig erwähnt werden, indefs konnte dieses Alles Newton um seine Anhänger nicht von ihrer wohlbegründeten Meinung zurückbringen.

Um dem langen, mit vieler Lebhaftigkeit geführten Streite ein Ende zu machen, und die grofse Frage vollständig zu entscheiden, bewog insbesondere Maurepas den Minister, Cardinal Fleury, und den König, zwei Gradmessungen in hinlänglicher Entfernung von einander, nämlich unmittelbar unter dem Aequator und unter dem Polarkreise vornehmen zu lassen. Zuerst wurde die berühmte Peruanische Messung ausgeführt, und das hierbei gebrauchte Normalmafs, die sogenannte *Toise von Peru*, dient zum ewigen Andenken an diese mit Recht berühmte Unternehmung noch immer als normales Vergleichungsmafs in allen cultivirten Ländern. Die glänzende Expedition, bestehend aus den Geometern Bouguer und Condamine, dem Naturforscher Jüssieu, dem Ingenieur Verguin, dem Zeichner Morainville, zwei Assistenten Couplet und Godin, dem Arzte Seniergue und dem Uhrmacher Hugo, reisete den 16ten Mai 1735 ab, und wurde von dem berühmten spanischen Gelehrten Don Antonio de Ulloa auf dem Schiffe des Don George Juan begleitet. So sehr indefs auch von der spanischen Regierung alles angeordnet war, um das Unternehmen nicht blofs möglich zu machen, sondern auch bestens zu befördern, so fanden dennoch die Akademiker weit gröfsere Schwierigkeiten, als sie erwartet hatten. In dem rauhen Klima der hohen Cordilleren mufsten sie sich zuweilen unter beschneieten Bergspitzen Monate lang aufhalten, um geeignetes Wetter abzuwarten. Hierzu kam die Rohheit und Ungefälligkeit der Gebirgsbewohner, mitunter fühlbarer Mangel an nothwendigen

---

suche enthält: Jacques Cassini de la Grandeur et de la Figure de la Terre. Suite des Mémoires de l'Acad. Roy. des Sciences. An. 1718. Par. 1720. 4. Vergl. Montucla II. 572. Auch Eisenschmidt folgerte aus der Zusammenstellung der Messungen von Snellius, Picard und Riccioli in Bologna mit den Angaben des Eratosthenes eine länglichte Gestalt der Erde. S. Joh. Casp. Eisenschmidt Diatribe de figura telluris. Argent. 1691. 8. In Frankreich suchte insbesondere auch Mairan die länglichte Gestalt der Erde aus verschiedenen Gründen darzuthun. S. Mém. de l'Ac. 1820, dagegen erklärte sich Joh. Bernoulli entschieden für Newton's Ansicht. S. Essai d'une nouvelle physique céleste. Par. 1735.

Bedürfnissen, so daſs die Messung selbst zwei Jahre erforderte. Indem sie dann aber ihren Aufenthalt noch zur Bestimmung der Strahlenbrechung und der Ablenkung des Bleilothes durch hohe Gebirgsmassen benutzen wollten[1], so kam Bouguer erst 1744, Condamine, welcher den Amazonenfluſs herabfuhr, erst 1746 zurück, Godin sah 1746 die Zerstörung von Lima und Fort Callao, ging dann durch Peru, Tucuman und Paraguay nach Buenos Ayres, kam 1750 erst wieder in Frankreich an, war indeſs den Spaniern so bekannt geworden, daſs man ihn zum Director der adlichen Cadetten zu Cadix ernannte, wo er seine Reisebeschreibung auszuarbeiten beabsichtigte, aber durch seinen 1760 erfolgten Tod daran gehindert wurde. Jussieu botanisirte lange in jenen Gegenden und erweiterte seine Kenntnisse bedeutend, sammelte auch viele Merkwürdigkeiten, hat aber keine Reisebeschreibung bekannt gemacht. Er starb 1778. Seniergue wurde in Cuença ermordet, ohne daſs Condamine die Bestrafung der Thäter erwirken konnte. Die beiden Spanier fuhren um das Cap Horn, und Don Juan kam 1746 zurück, Ulloa aber wurde in dem damals bestehenden Kriege von den Engländern gefangen und fürchtete mit Recht den Verlust aller seiner Papiere und Sachen. Inzwischen bewies schon damals diese Nation ihre hohe und nachahmungswerthe Achtung gegen Wissenschaft und Gelehrsamkeit. Ulloa wurde gleich nach seiner Ankunft in London nicht bloſs freigelassen, sondern mit groſser Auszeichnung behandelt, in die Societät aufgenommen, erhielt alle seine Papiere und Sachen zurück, und kam dadurch in den Stand, seine bekannte Reisebeschreibungen mit vielen schätzbaren physikalischen Bemerkungen herauszugeben[2].

Die Resultate dieser groſsen Operation sind zwar höchst bedeutend, und auf allen Fall wurde die Hauptfrage auf das bestimmteste durch dieselbe entschieden. Genau genommen schwebt aber über der ganzen Operation ein gewisses Dunkel, welches verhindert, daſs man die gefundene Gröſse eines Bogens unter dem Aequator nicht mit absoluter Sicherheit bei der Be-

---

1 Vergl. Th. I. S. 328.

2 Relacion historica del Viage a la America meridional. Por Don Jorge Juan y Don Ant. de Ulloa. Mad. 1748. 4 Vol. 4. Franz. Uebers. Voyage historique cet. Amst. 1752. 2 Vol. 4. Vergl. Montucla IV. 151.

rechnung der Figur unserer Erde zum Grunde legen kann. Beide Geometer bestrebten sich nämlich einander nicht blofs in der Bekanntmachung der gewonnenen Ausbeute zuvorzukommen, sondern jeder suchte dabei zugleich sein eigenes Verdienst auf Unkosten seines Begleiters zu erheben. Dieses veranlafste mehrere Streitschriften, bis sie einsahen, dafs hierdurch das Publicum gegen alle beide mifstrauisch werden müsse, und es daher am gerathensten fanden, sich nicht einander, damit aber zugleich sich selbst, zu schaden[1].

Ehe diese Operation beendigt war, brachte es MAUPERTUIS bei dem Minister MAUREPAS dahin, dafs noch eine zweite Expedition zu einer Messung unter dem Polarkreise ausgerüstet wurde[2]. MAUPERTUIS, CLAIRAUT, CAMUS und LEMONNIER, die Akademiker, und der Abbé OUTHIER, Eleve beim Observatorio in Paris, reiseten mit hinlänglichen Empfehlungsschreiben an den König von Schweden versehen ab, und kamen im Juli 1736 im bothnischen Meerbusen an, wo sich CELSIUS zu ihnen gesellte, und sie durch das schwedische Gouvernement auf das beste unterstützt wurden. Sie fanden hier der Schwierigkeiten eine unglaubliche Menge, bestimmten aber dennoch bis zum Monate November den Bogen zwischen *Torneå* unter 65° 51′ 1″,5 und dem Berge *Kittis* jenseits das Polarkreises unter 66° 48′ 30″ zuerst astronomisch zu 57′ 28″,5, mafsen dann in zwei Abtheilungen eine Basis auf dem Eise des Torneå-Flus-

1 Relation abrégée cet. par Bouguer. Mém. de l'Ac. 1736. p. 569. 1744. p. 249. Relation abrégée cet. par de la CONDAMINE ibid. 1745. p. 391. La Figure de la terre determinée par les observations des Mrs. BOUGUER et DE LA CONDAMINE. Par. 1749. 4. Mesure des trois premiers degrés du Méridien dans l'hémisphère austral. cet. par M. de la CONDAMINE. Par. 1751. 4. Journal historique du voyage fait par ordre du Roi a l'équateur, cet. par de la CONDAMINE Par. 1751. Justifications de plusieurs faits qui concernent les opérations des Academiciens à Perou cet. par BOUGUER. Par. 1752. Supplément au Journal historique et au livre de la mésure des trois prem. degrés cet. par de la CONDAMINE. Par. 1752. Lettre dans laquelle on discute divers points d'astronomie cet. und Reponse à la Lettre de Mr. Bouguer, Par. 1754. Vergl. v. Zach in Mon. Cor. XXVI. 39 ff.

2 Eigentlich hätte der gelehrte schwedische Astronom CELSIUS diese Messung dirigiren sollen, allein MONTUCLA IV. 149. sagt: MAUPERTUIS étoit agréable, il faisoit des chansons, il jouoit de la guitare, et cela lui aida à obtenir la commission qu'il demandoit.

ses, welcher durch die Stadt fliefst, und fanden durch Messung der Entfernung beider bestimmten Puncte die Gröfse eines Grades unter dem Polarkreise = 57437 Toisen. Aus einer Vergleichung desselben mit der Gröfse eines Grades zwischen Paris und Amiens = 57060 ergab sich evident, dafs die Erde ein an den Polen abgeplattetes elliptisches Sphäroid seyn müsse[1]. Eine Vergleichung mit der Länge eines Grades unter dem Aequator nach Bouguer = 56753 Toisen bestätigte dieses Resultat noch auffallender. Gleich nach der Beendigung dieser Operationen verbesserten Cassini de Thüry, der Grofssohn des Dominicus, und Lacaille im J. 1740 die früheren Messungen von Picard und den Cassini's, entdeckten mehrere Fehler darin, welche zum Theil von ungleichen Toisen und den dadurch verursachten unrichtigen Bestimmungen der Standlinien herrührten. Hiernach fanden sie die Länge eines Bogens unter 45° der Breite = 57012 Toisen, wodurch im Allgemeinen sowohl die Gröfse als auch die Gestalt der Erde bestimmt war.

Die bisher erwähnten Unternehmungen hatten allgemein ein so grofses Aufsehen gemacht, dafs man auch an andern Orten mit grofsen geodätischen Operationen Gradmessungen verband, oder absichtlich solche unternahm, von denen aber nur wenige ein brauchbares Resultat gegeben haben, weswegen eine kurze Erwähnung derselben genügen wird. Im Jahre 1750 ging la Caille[2] nach dem Vorgebirge der guten Hoffnung, um die südlichen Sterne zu beobachten, und die Mondsparallaxe zu bestimmen, benutzte aber zugleich eine geeignete Gegend zu einer Gradmessung um so mehr, als auf der südlichen Halbkugel noch keine solche vorgenommen war, und fand die Länge eines Grades unter 33° 18′ 30″ = 57037 Toisen, welches mit einer gleichförmigen Gestalt der Erde nicht übereinstimmt, und vielfach zur Unterstützung der Meinung einer Ungleichförmigkeit beider Halbkugeln benutzt ist. Obgleich wir keine anderweitige Messungen auf der südlichen Hemisphäre besitzen, so haben doch andere Untersuchungen die Unzuverlässigkeit

1 La Figure de la terre determinée par les observations de cet. par M. de Maupertuis. Amst. 1738. 8. Mém. de l'Ac. 1737. p. 389. Journal d'un voyage au Nord. par M. l'Abbé Outhier. Par. 1744. 4. De observationibus pro figura terrae determinanda cet. Auct. Celsio Ups. 1738. 4.

2 Mém. de l'Ac. 1751. p. 435.

dieser Gradmessung genügend dargethan, welche sich aufserdem aus der zu kurzen aufgewandten Zeit von etwa zwei Monaten und der nicht hinlänglichen Feinheit der gebrauchten Instrumente genugsam erklären läfst[1]. Der Pabst BENEDICT XIV. liefs bei der Ausmessung des Kirchenstaates durch LE MAIRE und BOSCOVICH gleichfalls 1751 bis 53 zwischen *Rom* und *Rimini* eine Messung von fast zwei Graden unter 43° N. B. vornehmen. Die Länge eines Grades wurde hiernach = 56973 Toisen gefunden[2]. Nach den neuesten Bestimmungen der Polhöhen von *Rom* und *Rimini* durch ORIANI, CONTI und CALANDRELLI und nach späteren geodätischen Messungen kann das erhaltene Resultat auf die erforderliche Genauigkeit keine Ansprüche machen. Im Jahre 1768 mafs der bekannte BECCARIA mit Hülfe des Canonicus CANONICA in den hierzu sehr geeigneten Ebenen bei *Turin* unter 44° 44′ N. B. einen Grad, fand aber grofse Ungleichheiten bei der Annäherung an die Gebirge, und seine Bestimmung der Länge des Grades = 57024 Toisen ist also hiernach und nach späteren prüfenden Messungen nicht zuverlässig genug[3]. Sehr ausgedehnte Messungen stellte LIESGANIG an, von *Sobieschitz* nach *Warasdin*, von *Sobieschitz* und *Brün* nach *Wien*, von *Wien* nach *Grätz* und von *Grätz* nach *Warasdin*, bestimmte hiernach die Länge eines Grades unter 48° 43′ N. B. zu 57086 Toisen, und unter 45° 57′ N. B. zu 56881 Toisen[4]. Allein PASQUICH und andere haben die von ihm astronomisch bestimmten Puncte controlirt und so fehlerhaft gefunden dafs seine Messungen hiernach ohne Werth sind[5]. Unter die minder brauchbaren Gradmessungen, welche aber nicht unbedeutendes geschichtliches Interesse haben, gehört die durch die Geometer in *China* unter der Leitung des Pa-

1 Mém. de l'Acad. 1751.

2 De litteraria expeditione per pontificiam dignitatem ad dimetiendos duos meridiani gradus et ad corrigendam mappam geographicam cet. Romae 1755. 4. Franz. Voyage astronomiqae et géographique dans l'état de l'église cet. par les PP. LE MAIRE et BOSCOVICH. Par. 1770. 4.

3 S. Gradus Taurinensis. Tur. 1774. 4. Vergl. v. Zach in Mon. Cor. XXVII. 272.

4 Dimensio graduum merid. Viennensis et Hungarici. Viennae 1770. 4. Vergl. Phil. Tr. 1768. p. 15.

5 Mon. Cor. VIII. 507. IX. 32. 120.

ter Thomas auf Befehl des Kaisers Camby und im Beiseyn eines Chinesischen Prinzen schon im Jahre 1702 bei *Peking* bewerkstelligte, deren Resultate aber wegen der Unbestimmtheit des dabei gebrauchten Maſses für uns gänzlich verloren sind[1]. Weit schätzbarer dagegen ist diejenige, welche 1790 in Ostindien durch *Reuben Burrow* mit groſsem Fleiſse, aber sehr mangelhaften Instrumenten bewerkstelligt, und nach seinem Tode durch seinen Gehülfen Dalby bekannt gemacht wurde. Er fand die Länge eines Grades unter 23° 18′ N. B = 56725,3 Toisen[2]. Endlich kann noch Nouet's Nachricht von seiner Gradmessung in Aegypten erwähnt werden, wonach ein Grad der Breite daselbst = 56880 Toisen gefunden wurde[3].

Unter allen bisher erwähnten Messungen von Breitengraden kann nur die eine unter dem Aequator zur Bestimmung der Gröſse und Gestalt der Erde benutzt werden[4]. Für ihre gröſsere Genauigkeit bürgen die lange Zeit und groſse Sorgfalt, welche darauf verwandt wurden, desgleichen der Umstand, daſs wirkliche Fehler ohne Zweifel durch die erwähnten Streitschriften zwischen Bouguer und de la Condamine aufgedeckt worden wären, welche auch allerdings manche in ihrem Vertrauen auf die Zuverlässigkeit der ganzen Operation wankend machten, im Ganzen aber mehr zum Vortheile als zum Nachtheile derselben entscheiden. Beide Gelehrte haben sich nämlich keine verschuldete oder unverschuldete Fehler vorgeworfen, sondern sie suchten nur gegenseitig ein jeder das Verdienst des andern zu schmälern, um das eigene in ein desto helleres Licht zu stellen. Bouguer und Condamine bestimmten zuerst den Unterschied der Breite von *Tarqui* und *Cotchesqui* zu 3° 7′ 1″, maſsen dann den Bogen des Meridians zwischen diesen beiden Orten, und reducirten ihn auf den Spiegel des Meeres. Bouguer brachte hernach für die Länge eines Grades unter dem Aequator 56753 Toisen heraus, Condamine aber nach seiner Berechnung 56750. Godin und die beiden Spanier dagegen stellten eine ähnliche

1 Mon. Cor. I. 589. X. 522.

2 A short account of the late Mr. Reuben Burrow's Mesurement of a degree of Longitude and another of Latitude near the tropic in Bengal cet. by J. Dalby. Lond. 1796. Mon. Cor. XII. 488.

3 Phil. Mag. XII. 208.

4 Vergl. Th. Grenus in Mon. Cor. XIII. 398. XVI. 238. v. Zach ebend. XXVI. 39.

Messung zu *Cuenza* und *Mira* an, und erhielten als Resultat aus der ganzen gemessenen Gröfse von 3° 26′ 52″ die Länge eines Grades unter dem Aequator = 56768 Toisen. Mag man nun hierin zwei Resultate oder mit MONTUCLA[1] drei annehmen, so beweiset auf allen Fall die sehr genaue Uebereinstimmung die Zuverlässigkeit der gefundenen Bestimmung. Durch spätere Correctionen, insbesondere der Ausdehnung der gebrauchten Mefsstangen durch die Wärme ist die Gröfse desselben auf 56731,7 Toisen festgesetzt[2].

Zu den genaueren Messungen gehört ferner diejenige, welche ein Engländer und ein Americaner MASON und DIXON in den weiten Ebenen PENSILVANIENS 1764 bewerkstelligten. Die beiden astronomisch bestimmten Puncte lagen unter 38° 27′ 34″ und unter 39° 56′ 19″, hatten also einen Abstand von 1° 28′ 45″, und die ganze zwischenliegende Strecke wurde sorgfältig mit der Kette gemessen. Es war indefs nicht möglich, hierbei stets der Richtung des Meridians zu folgen, sondern nachdem dieses auf einer Strecke von 104988,4 engl. F. geschehen war, mufste für den Rest von 434011,6 engl. Fufs des Terrains wegen eine Neigung gegen die gerade Richtung des Meridians von 3° 43′ 30″ gewählt werden. BIOT[3] hat die Correction berechnet, welche deswegen für diese Länge erforderlich ist, und danach beträgt dann der ganze zwischenliegende Bogen 538077,94 engl. F., welches für einen Breitengrad unter 39° 11′ 56″,5 N. B. nach gehöriger Reduction 56888 Toisen giebt[4].

Aufser diesen beiden, so eben näher betrachteten Gradmessungen giebt es noch vier andere aus der neuesten Zeit, nachdem die Erfahrung über alle bei solchen schwierigen Operationen zu beobachtende Vorsichtsmafsregeln genügende Aufklärung gegeben hatte, und durch die Fortschritte der Technik die dabei gebrauchten Instrumente auf einen sehr hohen, wenn man nicht sagen will, den höchsten Grad der Vollendung gebracht waren. Die kleinste von diesen, aber deswegen nicht minder wichtige und schwierige, ist die neue nordische unter dem Polarkreise. Eine genaue Revision der Bestimmungen

1 Hist. des Math. IV. 156.
2 Von Zach in Mon. Cor. XXVI. 39.
3 Traité élémentaire d'Astronomie phys. I. 426.
4 Biot a. a. O. I. 148.

Maupertuis's, hauptsächlich der Correctionen bei den gebrauchten Meſsstangen wegen der Temperatur, ergaben nämlich, daſs die zur Berechnung der Abplattung des Erdsphäroid's so wichtige Bestimmung der Länge eines Grades unter dem Polarkreise der nöthigen Genauigkeit ermangele. Auf den Antrieb von Melanderhielm wurden daher 1801 bis 3 die jungen Geometer Swanberg, Ofverbom, Palander und Holmquist dorthin gesandt, welche durch Anstrengung und Beharrlichkeit die groſsen obwaltenden Schwierigkeiten glücklich überwanden, und von 1801 bis 1803 diese Messung mit groſser Sorgfalt wiederholten, wofür Swanberg den von La Lande ausgesetzten astronomischen Preis erhielt[1]. Die ganze Operation ist in allen ihren speciellen Theilen genau beschrieben[2], und hierdurch war es möglich, auch nachher die erforderlichen Correctionen wegen der so schwierigen Bestimmung der Ausdehnung und Zusammenziehung der gebrauchten Meſsstangen durch die ungleiche Temperatur vorzunehmen, wonach dann die Gröſse des Grades daselbst = 57209,28 Toisen[3] angenommen wird.

In England hatte schon der General Roy eine ausnehmend vollständige und zugleich sehr genaue, weit ausgedehnte, Triangulirung vorgenommen[4], wodurch die Längen der Grade unter verschiedenen Breiten gefunden werden können; die eigentliche Gradmessung mit möglichster Genauigkeit und vermittelst der vollendetsten Instrumente geschah durch Mudge von *Dunnose* auf der Insel *Weight* unter 50° 37′ 8″ an bis *Clifton* unter 53° 27′ 31″. Sie hat in allen späteren Prüfungen bestens bestanden, liefert aber als höchst unerwartete Resultate, wenn man sie unter sich vergleicht, die Länge eines Grades unter 51° 2′ 54″ = 57127,65 T. und unter 52° 50′ 29″,8 = 57017,06 T. im Mittel unter 52° 2′ 19″,8 dieselbe = 57069,8 Toisen[5].

Eine der gröſsten und wichtigsten Gradmessungen ist diejenige, welche der Major Lambton in Ostindien 1802 ange-

1 Mém. de l'Inst. IX. 230.

2 Swanberg exposition des opérations faites en Laponie pour la determination d'un arc du méridien cet. Stockh. 1805.

3 Vergl. Melanderhielm in v. Zach Mon. Cor. I. 372. II. 250. VII. 561. XII. 421. bis XIV. 327. Journ. de Ph. LVI. 400.

4 Phil. Trans. LXXX. 111.

5 Phil. Tr. 1803. p. 383. Vergl. Mon. Cor. XXIII. 241. XXV. 497.

stellt hat. Zuerst mafs derselbe von *Trivandeporum* unter 11° 44′ 52″,6 bis *Paudrée* unter 13° 19′ 49″, und fand hiernach die Länge eines Breitengrades unter 12° 32′ 20″,8 = 56763 Toisen[1]. Späterhin hat eben derselbe diese Messung noch weiter ausgedehnt, nämlich von 8° 9′ 38″,4 bis 18° 3′ 23″,6 und die Länge der Grade unter 9° 34′ 44″ N. B. = 60472,83 engl. Fathoms oder 56760,8 T.; unter 12° 2′ 55″ = 60487,56 Fathoms oder 56774,6 T. und unter 16° 34′ 42″ = 60512,78 Fathoms oder 56798,4 Toisen gefunden[2]. Lambton wurde *indefs* später durch die Bemerkungen des Kapitain Kater auf einige mögliche Fehler aufmerksam gemacht[3], unternahm daher *eine* nochmalige Revision der ganzen Messung, corrigirte insbesondere die zum Messen der Standlinie gebrauchten Stangen *rücksichtlich* ihrer Ausdehnung durch Wärme, und reducirte sie auf schärfer bestimmte Normalmafse, wonach er dann folgende corrigirte Werthe erhielt[4]:

N. B.		1 Grad in Fathoms		in Toisen
9° 34′ 44″	—	60477,09	—	56746,50
13 2 55	—	60490,31	—	56757,63
16 34 42	—	60511,65	—	56777,63

Nur eine einzige Gradmessung hat die eben genannte an Umfang übertroffen, nämlich die neue französische. Der Wunsch, ein von Frankreich vorzugsweise stets behandeltes Problem durch die ausgedehnteste Operation zur endlichen Entscheidung zu bringen, das Bestreben, die frühere Messung in Frankreich gründlich zu revidiren, insbesondere aber für die neue grofse Republik ein ewig unveränderliches Normalmafs zu erhalten, welches nur mit der Erde zugleich untergehen könnte, veranlafste im Jahre 1792 den Entschlufs, die stets denkwürdige und wahrhaft ungeheure Messung eines Meridians durch ganz Frankreich vorzunehmen, um hieraus die Länge eines ganzen Quadranten zu berechnen, und den zehnmillionsten Theil desselben unter dem Namen *Meter* als Normalmafs einzuführen.

Dafs der Entschlufs hierzu gefafst und die Ausführung des-

1 Asiat. Reas. VIII. ausführl. ausgezogen in Bibl. Brit. XXXVII. 161. 245.

2 As. Reas. XIII. Im Auszuge in Phil. Tr. 1813. II. p. 486.

3 Phil. Tr. 1821.

4 Phil. Trans. 1823. I. 27.

selben glücklich beendigt wurde zu einer Zeit, als die Schrekkensscenen der Revolution kaum beendigt waren, keine bleibend consolidirte Regierung den Staat lenkte und zahlreiche feindliche Heere von den Grenzen abgehalten werden mufsten, grenzt an das Unglaubliche, und wird für immer zum Beweise dienen, was diese Nation an und für sich und durch eigenen Impuls zu leisten vermag. BORDA schlug vor, die von ihm aufs Neue empfohlenen Repetitionskreise hierbei anzuwenden, und die beiden berühmten Geometer MECHAIN und DELAMBRE wurden beauftragt, das Unternehmen in Ausführung zu bringen [1]. Die Messung des nördlichen Bogens von *Rodez* bis *Dünkirchen* geschah durch DE LAMBRE, und wurde zuerst beendigt, den südlichen Bogen dagegen von *Rodez* bis *Barcellona* mafs MECHAIN. Zwei Standlinien wurden gemessen, die eine bei *Melun* 6075,9 Tois. lang als Grundlage der ganzen Messung, die andere bei *Perpignan*, 6006,25 T. lang, als Controle. Die Messung geschah mit 4 Stangen von Platin, unter der Aufsicht von DE BORDA durch LENOIR mit gröfster Sorgfalt gearbeitet, mit einer parallel aufliegenden Stange Kupfer, um aus der ungleichen Ausdehnung der Metalle die Temperatur und zugleich die absolute Ausdehnung der ganzen Stangen zu finden [2], insbesondere aber wurde die Normalstange No. 1 sorgfältig mit der *Toise von Peru* und nachher auch mit der durch MAUPERTUIS gebrauchten verglichen, um vollkommene Uebereinstimmung in diese drei Hauptmessungen zu bringen. Die äufsersten Puncte des ganzen gemessenen Bogens waren *Dünkirchen* unter 51° 2′ 10″,5 und der Thurm von *Montjouy* bei *Barcellona* unter 41° 21′ 44″,8, mithin betrug die ganze Länge desselben 9° 40′ 25″,7 und wurde = 1275792,36 Meters gefunden [3]. Die Mitte desselben lag unter 49° 11′ 58″, und um diese genau unter 45°, die Mitte des Quadranten, zu bringen, wünschte MECHAIN die Messung bis nach den Balearischen Inseln auszudehnen. Er selbst erlebte dieses aber nicht, sondern starb an den Folgen einer Verwundung, des Grams über die Lage seines Vaterlandes und der Hauptstadt, desgleichen zu grofser Anstrengungen in jenen ungesunden Gegenden. Das Nationalinstitut

---

1 Connaissance des Temps. an X.

2 Vergl. Th. I. S. 579.

3 Montucla. IV. 166.

übertrug daher im Jahre 1806 den hierdurch und auch nachher berühmt gewordenen, noch lebenden Gelehrten Biot und Arago die Ausführung dieser höchst schwierigen Messung[1]. Vom Berge *Mongo* in Spanien konnte die Insel *Formentera*, der äufserste Punct des gemessenen ganzen Bogens nur eben als eine kleine Insel gesehen werden. Signale auf beiden Puncten waren bei Tage nicht wahrnehmbar, denn die eine Seite des gemessenen Dreiecks betrug 160008 Meters[2], und es mufsten daher Lampen mit Reverberen des Nachts angezündet werden, welche lange nicht wahrgenommen wurden, bis man darauf verfiel, bei Tage schon die Fernröhre dahin zu richten, wo man dieselben zu erwarten hatte, worauf sie dann des Nachts als kleine Fixsterne sichtbar wurden. Der ganze Bogen von *Dünkirchen* nach der genauesten Bestimmung unter 51° 2′ 9″,55 bis *Formentera* unter 38° 39′ 56″,11 beträgt also 12° 22′ 13″,44, und hat eine Länge von 705188,8 Toisen, dessen Mitte unter 44° 51′ 2″,83 fällt[3].

In diesem Augenblicke sind einige Gradmessungen entweder beschlossen oder zum Theil wirklich schon vollführt, deren Resultate mir noch nicht bekannt sind. Dahin gehört eine schon weit gediehene Messung in Rufsland und Finnland durch Struve[4], Walbeck und Argelander, die grofse geodätische Operation in *Schwaben* durch von Bohnenberger, die Messung in *Holstein* durch Schumacher und insbesondere diejenige in *Niedersachsen*, welche den berühmten Astronomen Gauss schon einige Sommer hindurch beschäftigt hat.

Die Uebersicht der hier mitgetheilten verschiedenen Gradmessungen mufs zu der Ueberzeugung führen, dafs es von je-

---

1 Einen Auszug aus dem Mémoir über diese Messung, s. in Bibl. Brit. XLIII. 43 ff.

2 Biot. Ast. phys. I. 161.

3 Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques cet, par MM. Biot et Arago. Par. 1821. 4. Nach Walbeck in Diss. de forma et magnit. Telluris ex dim. arcubus meridiani definiendis. Aboae. 1819 sind die Breiten der Endpuncte 38° 39′ 56″,11 und 51° 28′ 39″,56, also der zwischenliegende Bogen 12° 48′ 43″,45 und die Länge des ganzen Bogens 730431,3 Tois. Vergl. Delambre Astron. III. 566. Zeitschrift für Astron. von v. Lindenau und v. Bohnenberger. III. 74.

4 Schumacher Astron. Nachr. 1824. No. 32 u. 33.

her, so lange überhaupt wissenschaftliche Beschäftigungen in Achtung standen, an einem grofsen Aufwande von Mühe und Kosten nicht gefehlt hat, um die Gestalt und Gröfse der Erde mit völliger Schärfe aufzufinden. Indem aber diese Aufgabe nicht in sich absolut unauflösbar, selbst nicht einmal besonders schwer erscheinen kann, weil es nur auf die Ausmessung eines, wenn auch grofsen, Körpers ankommt, so läfst sich mit Grunde erwarten, dafs durch die genannten grofsen und mit ausgezeichneter Sorgfalt ausgeführten Operationen die Gestalt der Erde uns vollkommen bekannt seyn müfste. Ist dieses nicht der Fall, wie eine nähere Prüfung bald ergeben wird, so müssen physische Hindernisse obwalten, welche auf die erhaltenen Resultate einen Einflufs haben, und durch die gröfste Genauigkeit der Werkzeuge und Sorgfalt bei den Operationen des Messens nicht völlig beseitigt werden können.

Bei der Berechnung der durch die verschiedenen Messungen erhaltenen Resultate pflegt man von der Voraussetzung auszugehen, dafs die Erde ein an den Polen abgeplattetes elliptisches Sphäroid (ellipsoide de révolution) sey, durch Umdrehung um die kleine Axe der Ellipse entstanden. Zu dieser Annahme berechtigen sowohl verschiedene theoretische Gründe, als insbesondere auch die vorläufige Uebersicht der Resultate aus den Messungen. Hiernach kommt also die ganze Aufgabe darauf zurück, aus der Krümmung des elliptischen Meridians, wie diese an verschiedenen Orten gefunden ist, das Verhältnifs der beiden Axen zu finden. Es sind hierzu verschiedene Methoden der Berechnung in Vorschlag gebracht, welche im Wesentlichen darauf zurückkommen, die Meridiane als elliptische Bogen, deren halbe Axe $AC = b$ und halber Durchmesser $EC = a$ seyn mag, zu betrachten, und den Unterschied beider, desgleichen die absolute Länge eines derselben aus einzelnen gemessenen Graden nach den Eigenschaften der Ellipse zu bestimmen. Eine der leichtesten Methoden der Berechnung ist die durch Maupertuis[1] angegebene, welche nachher durch L. Euler und nach diesem durch Roumovsky[2] ausführlicher

Fig. 170.

1 Figure de la Terre. p. 147. Mém. de l'Acad. 1734. p. 98.

2 Nov. Act. Pet. XIII. 407. Eine dieser ähnliche Formel findet man in Phil. Tr. 1818. II. p. 498. eine hiervon verschiedene elegante Methode zeigt Littrow in: Theoretische und praktische Astronomie. Wien 1821. II Vol. 8. I. 333.

dargestellt wurde. Sind hiernach die Längen der gemessenen Grade g und G, die ihnen zugehörigen geographischen Breiten ψ und φ, so ist der Unterschied beider Axen

$$\delta = \frac{G - g}{3(G.\mathrm{Sin.}^2\varphi - g\,\mathrm{Sin.}^2\psi)}$$

welches, die grofse Axe als Einheit angenommen die Abplattung giebt.

Diese Formel wird für unsern Zweck genügen, um zu versuchen, wie genau die vorliegende Frage über die eigentliche Gestalt der Erde bisher durch die verschiedenen Messungen entschieden ist; denn die folgenden Betrachtungen werden ohnehin zeigen, dafs nicht sowohl die Methode der Berechnung, als vielmehr die Unsicherheit der zum Grunde liegenden Gröfsen eine noch immer herrschende Ungewifsheit veranlafst. In gröfster Allgemeinheit ist das Problem, aus gemessenen Meridiangraden die Gestalt der Erde zu bestimmen, durch La Place untersucht[1]. Dieser nimmt die Gradmessungen in *Peru*, auf dem *Cap*, in *Pensilvanien*, die *italienische*, die neue *französische* bis *Barcellona* und die *Oesterreichische* in Rechnung, und findet danach die Abplattung $= \frac{1}{277}$. Wird die Berechnung so angestellt, dafs die Summe der bei den Messungen begangenen Fehler $= 0$ werde, so folgt aus allen diesen Messungen eine Abplattung von $\frac{1}{312}$. Die Messungen von *Dünkirchen* bis *Montjouy* für sich berechnet geben nach La Place eine Abplattung $= \frac{1}{150,6}$. allein er bemerkt dabei sogleich, dafs diese Gröfse weder mit dem Gesetze der Schwere noch mit den Erscheinungen der Präcession und Nutation übereinstimme, welche keine gröfsere Abplattung als $\frac{1}{230}$ gestatten. Indem nun die bei der französischen Messung begangenen Fehler, wenn man aus derselben diesen Werth ableiten wollte, gröfser seyn müfsten, als sie nach der Wahrscheinlichkeit bei so genauen Operationen seyn können, so vermuthet La Place, dafs die

1 Méc. cél. Liv. III. vorzüglich Chap. 4. u. 5.

Erde überhaupt in Folge ungleicher Dichtigkeit nicht regelmäfsig gekrümmt sey[1].

Sehr ausführlich ist die Aufgabe, aus gemessenen Graden die Krümmung des Erdellipsoids zu finden, durch L. PUISSANT behandelt[2], allein die Entwickelung der von ihm gegebenen Formel ist viel zu weitläuftig, als dafs sie eine Mittheilung gestattete. Indefs findet man daselbst keine Vergleichung aller oder mindestens der genaueren Gradmessungen, um hieraus die Abplattung zu bestimmen, sondern blofs diejenigen Berechnungen, welche sogleich nach der Beendigung des ersten Theils der grofsen französischen Messung angestellt wurden, nämlich eine Vergleichung dieser letzteren und der peruanischen, woraus die Abplattung $= \frac{1}{334,29}$ oder schlechtweg $= \frac{1}{334}$ gefunden ist[3]. DELAMBRE unterwarf indefs sowohl die peruanische Messung als auch die französische von *Dünkirchen* bis *Barcellona* einer genauen Revision, und erhielt dann aus der Vergleichung dieser beiden Bogen eine Abplattung von $\frac{1}{308,6}$, statt dessen PUISSANT durch Verbesserung eines kleinen Rechnungsfehlers $\frac{1}{309,6}$ findet[4]. Dieses Resultat stimmt ziemlich genau mit demjenigen überein, was LE GENDRE[5] aus der Vergleichung des Grades in *Peru* und des in *Frankreich* von *Dünkirchen* bis *Paris* gemessenen fand, nämlich dafs die Abplattung $\frac{1}{305}$ betrage.

Eine ausführliche Abhandlung über die Bestimmung der Gestalt des Erdsphäroids aus Gradmessungen nebst einer Vergleichung mit demjenigen, was Präcession, Nutation und Monds-

1 a. a. O. Chap. 5. §. 41.

2 Traité de géodésie, ou exposition des méthodes trigonométriques et astronomiques, cet. 2me ed. Paris 1819. II vol. 4. I. ch. XII. u. XIII. p. 254. ff. Eine kurze und elegante Methode von ebendemselben findet man in Férussac Bullet. des Scienses Math. cet. 1825. Fév. p. 74.

3 Base du Système métrique. Par. III vol. 4. Vergl. Mém. de l'Inst. II. 43.

4 Base Métrique. III. 112. Puissant a. a. O. 278.

5 Mém. de l'Ac. 1789. p. 422.

gleichungen geben, hat von Lindenau mitgetheilt[1]. Er legt hierbei die von La Place gewählte Methode zum Grunde, wonach vorausgesetzt wird, daſs bei einem regelmäſsigen elliptischen Sphäroide die Zunahmen der Meridiangrade den Quadraten der Sinus der Breite proportional sind, wonach also die allgemeine Gleichung für irgend einen Meridiangrad wird:

$$z + y \text{ Sin.}^2 \text{ lat.} = M^\circ.$$

die durch von Lindenau in Rechnung genommenen Messungen sind die *Peruanische*, die beiden *Ostindischen* von R. Burrow und die erste von Lambton, die in *Pensilvanien, Italien, Frankreich, Oesterreich, England* und *Lappland* ausgeführten. Mit La Place's Berechnung verglichen, läſst er also die auf dem *Cap* weg, und führt dagegen die beiden Ostindischen, die Englische und die Lappländische ein. Aus allen vereinigt findet er unter der angegebenen Voraussetzung

$$y = 563{,}72\,;\ z = 56723{,}83 \text{ Tois.}$$

folglich $M^\circ = 56723{,}83 + 563{,}72 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$ woraus die Excentricität $= 0{,}006571$ und die Abplattung $= \frac{1}{304}$ mit nicht unbedeutenden Abweichungen der einzelnen Gröſsen von diesem mittleren Werthe aus allen, folgt[2]. Werden z. B. die drei zuverlässigsten neueren Messungen, die französische, die englische und die nordische mit einander nach der nämlichen Methode berechnet, so findet v. Lindenau die Abplattung $= \frac{1}{380}$, die beiden americanischen dagegen geben gar $\frac{1}{500}$. Aus der französischen für sich findet v. Lindenau $\frac{1}{155}$, welches von dem durch La Place gefundenen $= \frac{1}{150}$ und von Le Gendre $= \frac{1}{148}$ nicht merklich abweicht[3]. Das auffallendste Resultat giebt aber

---

1 Mon. Cor. XIV. 113. 309.

2 Nach der bei der Berechnung durch v. Lindenau zum Grunde liegenden Gröſse beträgt ein Grad unter dem Aequator 56753,5 Tois., also mit Bouguer's Angabe genau übereinstimmend. Nach den von andern angebrachten Correctionen ist derselbe kleiner.

3 Eben dieses letztere Resultat erhält Puissant. S. Traité de Géodésie. II. 248. Später in Cor. astron. par le Baron de Zach. cet. 1 cah. 2 findet v. Lindenau aus den Graden in Peru, Asien, Frank-

die *englische Gradmessung*, welche mit so außerordentlicher Genauigkeit angestellt ist, daſs sie vorzugsweise zur Entscheidung der untersuchten Frage dienen müſste. Die Resultate derselben sind gleichfalls durch v. Lindenau zuerst nach der Methode der kleinsten Quadratsummen berechnet[1], und nachher hat ebenderselbe die ganze Operation in allen ihren einzelnen Theilen untersucht, und folgende Werthe der einzelnen Gradlängen erhalten[2]:

Namen der Orte	Mittlere Breite	Länge eines Grades
Arbury-Hill — Clifton	52° 50′ 29″,9	57016,7 Tois.
Blenheim — Clifton	52 38 59,7	57020,1 —
Greenwich — Clifton	52 28 5,6	57043,6 —
Dunnose — Clifton	52 2 19,9	57069,8 —
Arbury-Hill — Greenwich	51 51 3,9	57095,2 —
Dunnose — Arbury-Hill	51 25 18,2	57108,9 —
Blenheim — Dunnose	51 13 48,1	57134,1 —
Dunnose — Greenwich	51 2 53,9	57108,2 —

Eine Vergleichung dieser Gröſsen unter sich giebt als höchst anomales Resultat eine Aequatorialabplattung von $\frac{1}{55}$, welches mit einer Zusammmenstellung aller übrigen Messungen eben so wenig als mit einer Verbindung irgend einer derselben mit dieser englischen vereinbar ist. Namentlich giebt ein Grad in Frankreich unter 45° N. B. = 57007,7 T. mit dem mittleren Werthe aus der englischen Gradmessung unter 52° 2′ 20″ = 57069,8 T. eine Abplattung von $\frac{1}{334}$. Indem aber die erwähnten Anomalien unmöglich aus Beobachtungsfehlern erklärlich sind, so folgerte Mudge[3], daſs das Bleiloth als Folge irregulärer Anziehungen der Erde eine Ablenkung nach Süden erhalten haben müsse, indem schon Newton[4] bewiesen habe, daſs

---

reich, England und Schweden den mittleren Grad = 57001,7 Tois. und die Abplattung = $\frac{1}{313}$.

1 Mon. Cor. XIV. 138.
2 Mon. Cor. XXVI. 109.
3 Phil. Tr. 1803. II.
4 Phil. nat. pr. math. III. prop. 20.

ungleiche Dichtigkeiten der Erdschichten eine Ablenkung des Lothes zu bewirken geeignet seyen. Eben diese Ansicht hegt v. LINDENAU, und folgert hieraus, daſs Gradmessungen überhaupt zur Bestimmung der Gestalt unserer Erde unzureichend sind, wenn wir nicht annehmen wollen, daſs dieselbe ein unregelmäſsiger Körper sey. Anderer Meinung hierüber ist RODRIQUEZ[1]. Zwar findet er allerdings das durch MUDGE erhaltene Resultat höchst auffallend, gelangt aber zu etwas anderen Werthen durch eine neue Berechnung nach DE LAMBRE's Formeln. Hierbei ist ihm das Verhältniſs[2] des englischen Fuſses zum französischen = 4 : 4,263, und wenn hiernach der ganze gemessene Bogen reducirt wird, so beträgt die Länge eines in der Mitte desselben liegenden Grades unter 52° 2′ 20″ N. B. = 57073,74 Toisen oder 60826,34 Fathoms bei 16°$\frac{2}{3}$ C. und eben so eines Grades am südlichsten Ende unter 51° 25′ 21″ = 57068,41 Toisen, am nördlichsten Ende aber unter 52° 50′ 32″ = 57080,7 Toisen, welches mit der Theorie weit besser übereinstimmt. Den Fehler, welchen MUDGE begangen haben soll, sucht RODRIQUEZ in unrichtigen Bestimmungen der Polhöhe ohngefähr in der Mitte des ganzen gemessenen Bogens, und schätzt ihn auf etwa 5″, indem übrigens die Messung im Ganzen mit der Berechnung nach der angenommenen Abplattung = $\frac{1}{306}$ bis auf die Differenz von 1″,38 übereinstimmt. Eben deswegen ist er nicht geneigt, der Vermuthung MUDGE's beizutreten, wonach eine Ablenkung des Lothes jene widersprechenden Resultate hervorgebracht haben soll. — Alle solche willkührliche Aenderungen aber, um die Messungen einer angenommenen Hypothese anzupassen, können den unbefangenen Forscher nicht befriedigen.

Eben diejenigen Grade, welche VON LINDENAU in Rechnung genommen hat, sind auch durch v. BOHNENBERGER dazu angewandt, um das Verhältniſs zwischen Axe und Durchmesser des elliptischen Erdsphäroids zu finden[3]. Indem aber die von ihm gebrauchte Formel mit andern Bestimmungen von Di-

---

1 Phil. Trans. 1812. p. 321. Vergl. einen Auszug in Con. des Tems 1816. p. 256.

2 Dieses ist bis auf eine geringe Kleinigkeit richtig. Vergl. *Maſs*.

3 Astronomie. 187. ff.

mensionen auf der Oberfläche der Erde zusammenhängt, wovon ich später Gebrauch machen werde, so wird es am besten seyn, Folgendes vorauszuschicken.

Wird, wie oben geschehen ist, der halbe Durchmesser der ellipsoidisch angenommenen Erde $= a$, die halbe Axe $= b$ und $\frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2$ gesetzt; der halbe Parameter der grofsen Axe $= p$, die Normale $= N$ genannt, so ist für einen elliptischen Erdmeridian nach den Eigenschaften der Ellipse

Fig. 170.

$$N^2 = \frac{p^2}{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}}$$

Es verhält sich aber der Krümmungshalbmesser der Ellipse für den Punct der Normale zu dieser Normale wie $N^2 : p^2$; und wenn man also diesen Krümmungshalbmesser durch R bezeichnet, so ist

$$R = \frac{N^2}{p^2} \times N = \frac{p}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \text{ lat}).^{\frac{3}{2}}}$$

Da sich aber so kleine Bogen wie die Krümmungshalbmesser verhalten, so ist für die den Polhöhen φ und ψ zugehörenden Gradbogen g und G

$$g : G = \frac{p}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} : \frac{p}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi)^{\frac{3}{2}}}$$

$$= (1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi)^{\frac{3}{2}} : (1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi).^{\frac{3}{2}}$$

$$g^{\frac{2}{3}} : G^{\frac{2}{3}} = 1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi : 1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi$$

Es ist also

$$G^{\frac{2}{3}} - G^{\frac{2}{3}} e^2 \text{ Sin.}^2 \psi = g^{\frac{2}{3}} - g^{\frac{2}{3}} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi$$

woraus 1) $e^2 = \frac{G^{\frac{2}{3}} - g^{\frac{2}{3}}}{G^{\frac{2}{3}} \text{ Sin.}^2 \psi - g^{\frac{2}{3}} \text{ Sin.}^2 \varphi}$.

Ist hieraus e^2 gefunden, so ist aus

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \text{ auch } \frac{b^2}{a^2} = 1 - e^2$$

und das Axenverhältnifs $b : a = \sqrt{1 - e^2} : 1$, wodurch die Abplattung gefunden wird. Um mit gewöhnlichen Logarithmen von 7 Decimalstellen e^2 noch genauer als durch die Formel No. 1 zu finden, setzt v. Bohnenberger

$$\frac{G-g}{3G}=D \text{ und } \frac{\text{Sin.}\,\varphi}{\text{Sin.}\,\psi}\left(\frac{g}{G}\right)^{\frac{1}{2}}=\text{Cos. } u.$$

in dieselbe, wonach dann

$$e^2 \text{ Sin.}^2 \psi \text{ Sin.}^2 u = 1-(1-3D)^{\frac{2}{3}}$$
$$=2D+D^2+\tfrac{4}{3}D^3+\ldots\ldots$$

$$2)\ e^2=\frac{2D}{\text{Sin.}^2\psi\,\text{Sin.}^2 u}+\frac{D^2}{\text{Sin.}^2\psi\,\text{Sin.}^2 u}+\frac{4D^3}{3(\text{Sin.}^2\psi\,\text{Sin.}^2 u)}+\ldots.$$

wobei das dritte Glied schon füglich vernachlässigt werden kann. Indem aber $\frac{b^2}{a^2}=1-e^2$ also $\frac{b}{a}=\sqrt{1-e^2}$ ist, so giebt das letzte Glied in eine Reihe entwickelt

$$\frac{b}{a}=1-\tfrac{1}{2}e^2-\frac{1}{2.4}e^4-\frac{1.3}{2.4.6}e^6-\ldots\ldots$$

also $\frac{a-b}{a}=\tfrac{1}{2}e^2+\frac{1}{2.4}e^4+\frac{1.3}{2.4.6}e^6+\ldots\ldots$

Liegt der eine gemessene Grad unter dem Aequator, so ist seine Breite $\varphi=0$ und sein Krümmungshalbmesser $R=p$. Es ist aber $g:G=p:R$, folglich

$$3)\ G=\frac{gR}{p}=\frac{g}{(1-e^2\ \text{Sin.}^2\psi)^{\frac{3}{2}}}$$
$$=g\left(1+\tfrac{3}{2}e^2\ \text{Sin.}^2\psi+\frac{3.5}{2.4}e^4\ \text{Sin.}^4\psi\right.$$
$$\left.+\frac{3.5.7}{2.4.6}e^6\ \text{Sin.}^6\psi+\ldots\right)$$

und umgekehrt

$$4)\ g=\frac{Gp}{R}=G\,(1-e^2\ \text{Sin.}^2\psi)^{\frac{3}{2}}$$
$$=G\left(1-\tfrac{1}{2}e^2\ \text{Sin.}^2\psi+\frac{3.1}{2.4}e^4\ \text{Sin.}^4\psi\right.$$
$$\left.+\frac{3.1.1}{2.4.6}e^6\ \text{Sin.}^6\psi+\ldots\right)$$

woraus für einen gegebenen Werth von e aus jedem gemessenen Grade jeder andere berechnet werden kann.

Ehe indeſs überhaupt eine Berechnung der Abplattung angestellt werden kann, wird hauptsächlich erfordert, die Gradmessungen vorher genau zu prüfen, damit nicht durch unrichtige Grundbestimmungen falsche Resultate erhalten werden. Daſs dieses indeſs einen weit gröſseren Aufwand von Zeit und Mühe

erfordere, auch auf eine weit umfassendere Arbeit führen würde, als hier am rechten Orte wäre, leidet keinen Zweifel, und es kann daher nur dasjenige mitgetheilt werden, was bishero von andern geschehen ist[1]. Aus diesem folgt aber, daſs verschiedene Gradmessungen ganz ausgeschlossen werden müssen, und es bleiben daher nur etwa folgende für die Berechnung brauchbar.

1. Die *Peruanische.* Diese ist durch Delambre[2] und von Zach[3] sehr genau revidirt, und hiernach ist die Länge eines Grades unter dem Aequator = 56731,7 Toisen.

2. Die drei *Ostindischen* nach der letzten Revision durch Lambton.

3. Die *französische.* Von dieser lieſse sich allerdings bei dem groſsen, derselben gewidmeten Aufwande eine ganz vorzügliche Genauigkeit erwarten, und diese ist ihr auch wohl im Ganzen nicht abzusprechen. Es scheint ferner, als ob der geodätische Theil derselben keinen weiteren Zweifeln unterliegt, auch ist der südlichste Endpunct mit gröſster Schärfe bestimmt; allein Biot, von welchem wir eben diese Bestimmung haben, sagt zugleich, daſs er die Vergleichung des ganzen in Frankreich gemessenen Bogens, mit den Messungen in Indien, England und Lappland so lange versparen müsse, bis die vom Bureau des Longitudes beschlossene Verificirung der Polhöhe von Dünkirchen ausgeführt seyn würde[4]. Indeſs läſst sich nicht erwarten, daſs diese Bestimmung bedeutend unrichtig seyn sollte, und da auſserdem ein kleiner Fehler sich über den ganzen gemessenen Bogen ausdehnt, so kann hierdurch das Resultat nicht merkbar unrichtig werden. Wir müssen auſserdem bei der Voraussetzung einer regelmäſsigen Krümmung der Erdmeridiane, worauf die ganze Hypothese gebauet ist, annehmen, daſs die

---

1 Eine der neuesten Arbeiten über diesen Gegenstand ist von Timmerman's: Diss. astron. math. de figura Terrae cet. Gandae 1822. 4. Darin sind allerdings elegante Formeln zur Berechnung mitgetheilt, allein bloſs die älteren Messungen uncorrigirt aufgenommen, wonach denn die Abplattung aus Gradmessungen $= \frac{1}{314}$ und aus Pendellängen $= \frac{1}{320}$ gefunden wird.

2 Base metr. III. 112.

3 Mon. Cor. XXVI. 39.

4 Recueil d'Observations cet. p. 440.

nördlicheren Grade des ganzen Bogens den mittleren um ebensoviel übertreffen, als die südlicheren kleiner sind. Diesemnach fällt die Mitte des ganzen gemessenen Bogens in 44° 51′ 2″,83 und die Länge eines Grades unter dieser Breite beträgt, gewiſs mit groſser Zuverlässigkeit 57006,14 Toisen.

4. Die *englische* Gradmessung kann zwar wegen des nachgewiesenen Widerspruches der erhaltenen Gröſsen unter sich, mit allen andern Messungen und mit der Theorie kein absolut zuverlässiges Resultat darbieten. Wenn man indeſs die groſse Genauigkeit derselben berücksichtigt, so verdient sie keineswegs ausgeschlossen zu werden, indem es bloſs darauf ankommt, die Gröſse eines Grades unter der mittleren Polhöhe der ganzen Messung zu kennen, wobei sich dann die Fehler wenigstens zum Theil auf das Ganze vertheilen und dadurch geringer werden. Der Werth dieser Gröſse ist oben so angegeben, wie er aus der Messung unmittelbar abgeleitet wurde, und eben diesen giebt auch von Lindenau[1] als das Resultat seiner sehr genauen Berechnung an, nämlich die Länge eines Grades unter 52° 2′ 20″ N. B. = 57069,8 Tois. Mit einer nur unbedeutenden Abweichung werden neuerdings[2] für einen Grad unter dieser Breite 60824,26 Fathoms oder 57071 Toisen angenommen.

5. Endlich darf auch die *neueste nordische* nicht bloſs nicht ausgeschlossen werden, sondern sie ist vielmehr von vorzüglicher Wichtigkeit, theils weil sie die Gröſse eines Grades im hohen Norden angiebt, theils weil sie auf vorzügliche Genauigkeit nicht ganz ungegründete Ansprüche machen darf. Indeſs ist die Frage, wie groſs ein Grad unter jener Breite wirklich sey? Nach den mir zu Gebote stehenden Hülfsmitteln, und ohne daſs es aus den oben angegebenen Gründen hier zulässig ist, eine neue und vollständige Revision der Messung vorzunehmen, läſst sich darüber Folgendes sagen. Das durch Maupertuis gefundene Resultat, wonach ein Grad unter 66° 19′ 34″ N. B. = 57422 Toisen betragen sollte, ist ganz unzulässig. Die schwedischen Geometer Swanberg, Ofverbom, Palander und Holmquist dehnten die Messung noch bedeutend weiter aus, nämlich von Malörn unter 65° 31′ 32″,14 bis Pahtavara unter 67° 8′ 51″,53. Die Amplitudo des ganzen gemessenen Bogens

1 Mon. Cor. XXVI. 130.

2 Phil. Tr. 1823. I. 27.

betrug daher 1° 37′ 19″,39, wovon die Mitte unter 66° 20′ 12″ fällt, und nach Melanderhielm[1] 57209,28 Toisen beträgt, welche Gröſse auch oben angenommen ist. Bohnenberger[2] nimmt bei seiner Berechnung nur 57188,42 T. an, von Lindenau[3] aus Swanberg's Bericht und nach einigen späteren Correctionen wegen der Temperatur der Meſsstangen 57196,18 Tois., welche Bestimmung oben mitgetheilt ist. Nach Lambton's Berechnung beträgt die Gröſse desselben 60955 Fathoms, welches reducirt[4] 57193,62 Toisen ausmacht[5]. Wenn ich indeſs in Ueberlegung ziehe, daſs früher ein Axenverhältniſs von 333 zu 334 sehr allgemein angenommen wurde, und man hierdurch geneigt seyn konnte, den Lappländischen Grad etwas kleiner zu finden, so scheint es mir am geeignetsten, die erste, aus der unmittelbaren Messung durch genaue Berechnung und mit Rücksicht auf die erforderlichen Correctionen gefundene Gröſse beizubehalten, und hiernach also den Grad unter 66° 20′ 12″ N. B. zu 57209,28 Toisen anzunehmen. Eine Zusammenstellung dieser Gröſsen giebt dann folgende Uebersicht.

Beobachter	Nördliche Breiten			Länge eines Grades
Bouguer u. Condamine	0°	0′	0″	56731,70 Toisen
Lambton . . . a)	9°	34	44	56746,50
— b)	13	2	55	56757,63
— c)	16	34	42	56777,63
Delambre, Mechain, Biot, Arago	44	51	3	57006,14
Mudge	52	2	20	57070,00
Swanberg u. Ofverbom	66	20	12	57209,00

Werden diese Gröſsen nach der bequemen, und für unsern Zweck genügenden Formel von Maupertuis in Rechnung genommen, so geben sie folgende Werthe für die Abplattung des elliptischen Erdsphäroid's.

---

1 Mon. Cor. VII. 566.

2 Astronomie. S. 196.

3 Mon. Cor. XIV. 131.

4 Vergl. *Maſs*.

5 Phil. Trans. 1823. I. 27.

Verglichene Grade		δ	Abplattung
Peruanische und Ostindische a	—	0,00313954	$\frac{1}{318,5}$
— — — b	—	0,00298740	$\frac{1}{334,7}$
— — — c	—	0,00331220	$\frac{1}{301,9}$
— — Französische	—	0,00322630	$\frac{1}{309,9}$
— — Englische	—	0,00317870	$\frac{1}{314,6}$
— — Lappländische	—	0,00331506	$\frac{1}{301,6}$
Ostindische a und Französische	—	0,00323140	$\frac{1}{309,4}$
— — Englische	—	0,00318080	$\frac{1}{314,3}$
— — Lappländische	—	0,00332100	$\frac{1}{301,1}$
Ostindische b und Französische	—	0,00325350	$\frac{1}{307,3}$
— — Englische	—	0,00319568	$\frac{1}{312,9}$
— — Lappländische	—	0,00333607	$\frac{1}{299,7}$
Ostindische c und Französische	—	0,00320962	$\frac{1}{311,5}$
— — Englische	—	0,00315870	$\frac{1}{316,3}$
— — Lappländische	—	0,00331536	$\frac{1}{301\ 6}$
Französische und Englische	—	0,00298895	$\frac{1}{334,5}$
— — Lappländische	—	0,00344330	$\frac{1}{290,4}$
Englische und Lappländische	—	0,00370154	$\frac{1}{270,1}$
Mittel	—	0,00324973	$\frac{1}{307,7}$

Dieses mittlere Resultat stimmt ziemlich nahe mit demjenigen überein, welches die peruanische Messung mit der französischen giebt, und welches von DE LAMBRE und von v. ZACH gleich groſs gefunden ist[1]. Eine Vergleichung der einzelnen Werthe unter einander zeigt, daſs die englische Messung die gröſsten Abweichungen von dem mittleren Resultate giebt, welche aber einander entgegengesetzt sich wieder compensiren, die aus der französischen und aus der lappländischen gefundene Abplattung kommt aber derjenigen am nächsten, welche die neuesten Pendelmessungen gegeben haben. Auſserdem giebt die Zusammenstellung des zweiten Ostindischen Grades mit dem Peruanischen ein auffallend abweichendes Resultat. Es scheint mir weniger der Sache angemessen, diese Abweichung von einer unregelmäſsigen Krümmung der Erde abzuleiten, als vielmehr einen Fehler in der Messung, namentlich in den Breitenbestimmungen beizulegen, weil dieser Grad gerade zwischen zwei sehr genau übereinstimmenden liegt. Werden aber die aus diesen Graden abgeleiteten Bestimmungen der Abplattung weggelassen, so ist dieselbe nach dem mittleren Resultate $= 0,00327931$ oder $= \frac{1}{304,9}$.

Bei der im Ganzen geringen Abweichung der Resultate aus genauen Messungen mit diesem mittleren Werthe wird es doch mindestens wahrscheinlich, daſs unsere Erde ein regelmäſsig gekrümmtes elliptisches Sphäroid (ellipsoide de révolution) sey, dessen Gröſse und Gestalt allerdings durch genaue Messungen an geeigneten Orten, vorzüglich in flachen Gegenden mit wenigstens sehr genäherter Genauigkeit bestimmt werden könnte.

Zum Beschlusse dieser Untersuchung möge es noch erlaubt seyn, das gefundene Resultat mit einigen von anderen erhaltenen zu vergleichen. RODRIGUEZ[2] findet aus einer Zusammenstellung der Gradmessungen am *Aequator*, in *Bengalen*, *Frankreich* und *Lappland* im Mittel $= \frac{1}{312,5}$. LAMBTON[3] erhielt

---

1 Mon. Cor. XXVI. 58. Vergl. La Place Méc. Cél. T. V. Liv. XI. p. 13.

2 Phil. Tr. 1812. 321. Bohnenberger und v. Lindenau Zeitschrift für Astron. III. 76.

3 Phil. Tr. 1818. II. 503.

anfänglich aus dem von ihm gemessenen Grade verglichen mit der Französischen Messung $\frac{1}{309,5}$, mit der Englischen $\frac{1}{313,54}$ und mit der Schwedischen $\frac{1}{307,9}$; wonach also die mittlere Abplattung $= \frac{1}{310,3}$ seyn würde. Nach einer späteren Revision und neuen Berechnung erhält ebenderselbe[1] folgende Resultate aus den drei angegebenen Bestimmungen seiner Messung in Bengalen:

mit der Französischen $\frac{1}{310,07}$; $\frac{1}{309,64}$; $\frac{1}{313,73}$ Mittel $\frac{1}{311,15}$,
— — Englischen $\frac{1}{310,3}$; $\frac{1}{309,94}$; $\frac{1}{313,7}$ — $\frac{1}{311,32}$
— — Lappländischen $\frac{1}{307,88}$; $\frac{1}{307,55}$; $\frac{1}{309,92}$ — $\frac{1}{308,45}$.

Das Mittel aus allen wäre dann $\frac{1}{310,31}$. Nach einer genauen Revision der Standlinien in Indien und England findet Kater[2] dagegen aus den beiden genauen *Indischen*, den *Französischen*, *Englischen* und *Lappländischen* mit einer geringen Abweichung der einzelnen Resultate im Mittel $\frac{1}{303,32}$, nämlich aus der Vergleichung der drei genannten, unter 9° 34′ 44″ unter 13° 2′ 55″, und unter 16° 34′ 42″ gemessenen Graden mit

dem Französischen $= \frac{1}{304,64}$; $\frac{1}{305,55}$; $\frac{1}{313,77}$ Mittel $\frac{1}{307,99}$
dem Englischen $= \frac{1}{305,57}$; $\frac{1}{306,4}$; $\frac{1}{313,5}$ — $\frac{1}{308,49}$
dem Lappländ. $= \frac{1}{304,44}$; $\frac{1}{305,01}$; $\frac{1}{309,09}$ — $\frac{1}{307,55}$

woraus als Mittel $\frac{1}{307,55}$ folgt. Weil aber die drei letzten Resultate sämmtlich zu klein sind, so wird diese Messung als fehlerhaft betrachtet, und bei der grofsen Uebereinstimmung der übrigen aus diesen das oben genannte Mittel als mit der Wahr-

1 Phil. Tr. 1813. I. 27.
2 Ibid. 1821. I. 94.

heit am genauesten übereinstimmend angenommen. Dafs indefs der gelehrte Geometer die Beobachtungen etwas corrigirt habe, um dieses, nach seiner Meinung richtige Resultat herauszubringen, scheint mir nicht zweifelhaft. WALBECK[1] endlich nimmt die *Peruanische*, die *französische*, die *beiden Ostindischen*, die *englische* und *neuere Lappländische* nach der Methode der kleinsten Quadrate in Rechnung, und findet die Länge eines mittleren Grades = 57009,76 Toisen, die Abplattung aber $= \frac{1}{302,78}$.

Es ist im Vorstehenden die Gestalt der Erde und die Gröfse ihrer Abplattung so angegeben, wie sie auf eine einfache Weise aus den Gradmessungen gefunden wird. LA PLACE, v. LINDENAU, v. BOHNENBERGER u. a. haben zugleich noch eine andere Methode gewählt, indem sie die Resultate der Gradmessungen zusammenstellen, dabei eine gewisse wahrscheinliche Abplattung zum Grunde legen, und hieraus bestimmen, wie grofs die begangenen Fehler seyn müssen, wenn alle Messungen mit einer regelmäfsigen Gestalt der Erde übereinstimmen sollen. Auch dieses hier zu zeigen, würde zu weit führen, und es wird daher genügen, nur im Allgemeinen das Resultat anzugeben, wonach die zuverlässigeren Messungen allerdings so genau mit der oben gefundenen Abplattung übereinstimmen, dafs die Abweichungen füglich begangenen Fehlern oder örtlichen Anziehungen des Bleilothes beizumessen sind, und man also nicht gezwungen ist, der Erde eine unregelmäfsige Gestalt beizulegen[2]. Inzwischen scheinen doch die bisherigen Gradmessungen nicht geeignet, die Frage über die Excentricität des elliptischen Erdsphäroid's genügend zu entscheiden. Dieses geht schon aus den grofsen Abweichungen hervor, welche die Zusammenstellungen der einzelnen Gradmessungen zeigen, und wenn sie sich gleich anscheinend zu dem angegebenen mittleren Resultate von $\frac{1}{305}$ vereinigen lassen, so weifs man zugleich sehr wohl, dafs eben diese Gröfse oft aus andern bekannten Gründen gesucht und also auch gefunden wurde.

---

1 Diss. de forma et magnit. Telluris cet. Aboae 1819.
2 Vergl. Walbeck a. a. O. p. 7.

B. Gestalt der Erde nach Längenmessungen.

Es ist wohl ohne Weiteres an sich klar, daſs die Gröſse und Gestalt der Erde eben so gut auch durch Gradmessungen auf verschiedenen Parallelkreisen bestimmbar seyn müſste, wenn diese mit der erforderlichen Genauigkeit angestellt würden. Weil aber hierbei im Allgemeinen die nämlichen Schwierigkeiten zu überwinden sind, als bei den Messungen in den Meridianen, die scharfe Bestimmung des Längenunterschiedes der beiden Endpuncte solcher gemessenen Bogen aber ungleich schwieriger ist[1], als die Bestimmung der Polhöhen bei gemessenen Breitengraden, so läſst sich hiervon noch weniger erwarten.

Die ersten mir bekannten Messungen von Längengraden sind die 1733 und 34 durch Cassini und Maraldi ausgeführten. Sie maſsen den Perpendikel auf dem Meridian von Paris westlich bis an die Grenze des Reiches, und fanden hieraus die Länge eines Grades in diesem Parallel = 36676 Toisen, also 1037 T. kleiner, als er bei der vollkommenen Kugelgestalt der Erde seyn muſste. Eben so wurde auch der östliche Perpendikel bis nach Straſsburg gemessen, und die Länge eines Grades = 37745 Toisen, mithin 680 T. kleiner gefunden, als auf einer Kugel, woraus zwar im Allgemeinen die sphäroidische Gestalt der Erde folgte, allein der Unterschied beider gefundenen Gröſsen läſst schon an sich nicht auf die erforderliche Genauigkeit dieser Messungen schlieſsen. Eine dritte Massung dieser Art stellte Cassini 1735 auf der Höhe von Brest an, und fand abermals die Abweichung vou der Kugelgestalt bestätigt, allein aus dem hierbei erhaltenen Resultate folgte eine länglichte Form der Erde, welches im Widerspruche mit den beiden früheren der älteren Meinung zur Unterstützung diente[2]. Die genaueste Messung von Längengraden ist vielleicht die im Jahre 1740 von Cassini de Thüry und Lacaille vorgenommene. Als Beobachtungspuncte wählten sie den Berg St. Victoire bei Aix und St. Clair bei Cette, und bestimmten den Längenunterschied durch die Beobachtung von Pulversignalen, welche auf dem Thurme Sta. Maria in einem kleinen Dorfe an der Rhone

---

1 Vergl. *Länge, geographische.*

2 Mém. de l'Ac. 1733. p. 389. 1734. p. 434. 1735. p. 403. u. 1736. p. 329.

zwischen beiden Stationen durch Abbrennen von 10 ℔. Pulver gegeben wurden. Den Unterschied der Zeit fanden sie 7′ 33″,25, welches einer Längendifferenz von 1° 53′ 19″ zugehört, den terrestrischen Bogen zwischen beiden Stationen aber bestimmten sie vermittelst 6 Dreiecken und einer Basis von mehr als 9000 Toisen, in der Ebene bei Arles gemessen, zu 78663 Toisen, woraus ein Grad der Länge in dieser Breite = 41358 Toisen gefunden wurde, also 260 Toisen kürzer als auf der Kugel und über 500 T. kürzer, als er nach der Hypothese einer länglichten Gestalt der Erde seyn mufste[1]. Auch die ältere Nachricht über die ausgedehnten Messungen des Major Lambton in Ostindien enthält die Angabe eines unter 12° 32′ 30″ N. B. gemessenen Längengrades[2], dessen Gröfse 57294 Tois. gefunden seyn soll. Weil diese Gröfse aber die aus den Messungen der Breitengrade gefundene um etwa 1000 Tois. übersteigt, so mufs nothwendig irgend ein Fehler obwalten, welcher sie zur Bestimmung der Erdgestalt unbrauchbar macht, auch wird dieselbe in der späteren vollständigen Darstellung dieser bedeutenden Messungen nicht weiter erwähnt[3]. Burrow verband mit seiner eben erwähnten Messung der Breitengrade gleichfalls eine der Längengrade, und fand einen solchen unter 23° 18′ = 52534 Toisen, welches allerdings mit anderweitigen genauen Bestimmungen recht gut übereinstimmt, als Mittel zur Berechnung der Erdgestalt aber der erforderlichen Genauigkeit und Zuverlässigkeit ermangelt.

Erst aus den neuesten Zeiten besitzen wir einige Messungen von Längengraden, welche nicht blofs mehr Vertrauen verdienen, sondern auch zur Bestimmuug der Abplattung benutzt werden können. Mehrere Geometer und Astronomen haben gemeinschaftlich daran gearbeitet, nämlich hauptsächlich der Obrist Brousseaud vom französischen Genie-Corps, welcher die geodätische Messung im Parallel von 45° 43′ 12″ zwischen den Meridianen von Marennes bei Royan und Genf vollendet hat, desgleichen die Astronomen Nicollet und Pictet, wel-

---

1 Cassini: la Méridienne de Paris vérifiée. Par. 1744. Suite des Mém. de l'Ac. 1740.

2 S. Asiatic Researches VIII. Vergl. de Lambre Astronomie théorique et pratique. Par. 1814. 3 Tom. 4. I. 525.

3 S. Phil. Tr. 1818. II.

che für diesen Theil des Ganzen die Längenbestimmungen besorgt haben. An diese Messung schliefst sich der durch PLANA und CARLINI in Italien bis Padua gemessene Bogen an. Der erste, aus vier Theilen bestehende Bogen hat eine Länge von 565052,5 Metres bei einem Unterschiede der Länge von 1741'',51 in Zeit, und giebt die Gröfse eines Längengrades = 77867,25 Metres, also mit dem Meridianbogen zwischen Greenwich und Formentera verglichen eine Abplattung von $\frac{1}{271,31}$. Wird der gemessene Bogen bis zum Meridiane von Mailand verlängert, so erhält der Längengrad 77862,66 Metres, und giebt eine Abplattung von $\frac{1}{275,68}$, und wenn er endlich mit der italienischen Messung von PLANA und CARLINI verbunden und bis Padua ausgedehnt wird, so erhält man die Länge des mittleren Längengrades = 77847 Metres und eine Abplattung von $\frac{1}{292}$. Es ist merkwürdig, dafs hiernach die Abplattung ungleich gröfser erscheint, als sie aus den bei weitem meisten bisherigen Breitenmessungen gefunden ist, zugleich aber ist die Differenz der Resultate, welche bei so sorgfältigen Operationen dennoch zwischen $\frac{1}{271,31}$ und $\frac{1}{292}$ fällt, nicht eben geeignet, das Vertrauen auf diese Arten von Bestimmungen der Abplattung durch einzelne, auf der Oberfläche des Erdsphäroids gemessene Bogen zu befestigen[1].

Um aus gemessenen Parallelen, verglichen mit bekannten Breitengraden, die Abplattung der Erde zu finden, dient folgende Formel von PUISSANT, wonach dieser die angegebene Excentricität gefunden hat[2]. Es bezeichnen φ und ψ die Breitengrade der äufsersten Puncte des verglichenen Meridianbogens A, ferner sey P die Gröfse des im Parallel unter der Breite = H gemessenen Bogens B, endlich e die Excentricität und a der Halbmesser des Aequators, π aber der halbe Umkreis für den Halbmesser = 1; so ist

1 S. Puissant in Nouveau Bullet. des Sciences. 1825. Nov. p. 161.

2 Connaissance des Tems. 1827. p. 230.

$$A = (\varphi - \psi)\frac{a\pi}{180}\left[1 - e^2\left(\frac{1}{4} + \frac{135}{\pi}\cdot\frac{\text{Sin.}(\varphi-\psi)\,\text{Cos.}(\varphi+\psi)}{\varphi-\psi}\right)\right]$$

$$-e^4\left(\frac{3}{64} + \frac{}{4\pi}\cdot\frac{\text{Sin.}(\varphi-\psi)\,\text{Cos.}(\varphi+\psi)}{\varphi-\psi}\right.$$

$$\left.-\frac{675}{32\pi}\cdot\frac{\text{Sin.}\,2(\varphi-\psi)\,\text{Cos.}\,2(\varphi+\psi)}{\varphi-\psi}\right)$$

$$B = \frac{Pa\pi}{180}\,\text{Cos.}\,H\left(1 + \tfrac{1}{2}e^2\,\text{Sin.}^2 H + \tfrac{3}{8}e^4\,\text{Sin.}^4 H + \ldots\right)$$

In beiden Formeln kann das zur vierten Potenz von e gehörige Glied füglich weggelassen werden. Dividirt man beide durch einander, und eliminirt auf diese Weise a, so findet man

$$e^2 = \frac{B(\varphi-\psi) - AP\,\text{Cos.}\,H}{B(\varphi-\psi)\left[\frac{1}{4} + \frac{135}{\pi}\cdot\frac{\text{Sin.}(\varphi-\psi)\,\text{Cos.}(\varphi-\psi)}{\varphi-\psi}\right] + \frac{1}{2}AP\,\text{Cos.}\,H\,\text{Sin.}^2 H.}$$

C. Gestalt der Erde uach Pendelschwingungen.

Ein weit leichteres, und wie sich im Verfolge der Untersuchung ergeben wird, ein weit sichereres Mittel zur Bestimmung nicht sowohl der absoluten Gröfse (welche nothwendig durch irgend eine Art directer Messung gefunden werden mufs) als vielmehr der Gestalt der Erde, oder noch genauer des Axenverhältnisses derselben unter der Voraussetzung einer elliptisch sphäroidischen Gestalt derselben, sind Pendelschwingungen. Auf den ersten Blick scheint es dem Unkundigen zwar unmöglich, dafs aus den Oscillationen eines Pendels, d. h. irgend eines schweren, an einem Faden aufgehangenen, Körpers das Verhältnifs der Erdaxe zu ihrem äquatorischen Durchmesser bestimmbar seyn soll, allein dieses einfache Mittel, wodurch sich die Herrschaft des menschlichen Verstandes über die Gesetze der Natur auf eine interessante Weise legitimirt hat, läfst sich gar leicht vorstellbar machen. Jeder schwere Körper folgt nämlich der Anziehung, welche jedes einzelne materielle Theilchen der Erde gegen ihn ausübt, und äufsert hiernach das Bestreben zu fallen. Wird er daher an einen Faden gebunden, so mufs er die mittlere Richtung gegen die Erde erhalten, in welche die Summe aller dieser Kräfte ihn zieht, und in diese nämliche Richtung wieder herabsinken, wenn man ihn in ir-

gend einen Elongationswinkel mit dieser Richtung bringt, oder er wird vermöge des Gesetzes der Trägheit oscilliren, bis die Hindernisse dieser seiner oscillatorischen Bewegung den Zustand der Ruhe wieder herstellen. Die hiernach stattfindendenden Schwingungen geschehen, nach den Gesetzen des Fallens, und das Fallen selbst wird erzeugt durch die Schwere oder die Anziehung, welche die Erde gegen ihn ausübt. Wäre nun die Erde eine vollkommene Kugel, so würde die Anziehung, mithin auch die Geschwindigkeit des Fallens und somit auch die Zeit einer Schwingung überall gleich seyn. Ist aber die Erde ein regelmäſsig gebildeter Körper von anderer Gestalt, so werden diese sämmtlichen Bedingungen und diesemnach auch ihre Wirkung eine Abänderung erleiden; namentlich werden bei einer regelmäſsigen elliptisch sphäroidischen Form derselben die Anziehungen und Fallhöhen unter dem Aequator am geringsten, unter den Polen am gröſsten seyn. Weil aber endlich die Pendelschwingungen so viel zahlreicher in einer gegebenen Zeit sind, je stärker die Wirkung der Anziehung ist, und so viel geringer, je länger das Pendel ist, so kann aus der zunehmenden Zahl der Schwingungen oder der gröſseren Länge der gebrauchten Pendel die Vermehrung der Schwere nach den Polen hin, und hierdurch das Verhältniſs der Erdaxen oder die Abplattung oder die Excentricität des Erdellipsoids gefunden werden. Auf welche Weise dieses mit Genauigkeit geschieht, wird weiter unten gezeigt werden.

Pendelbeobachtungen für den angegebenen Zweck sind viel später angestellt, als Gradmessungen ausgeführt wurden, allein da die Versuche dieser Art wo möglich noch feiner sind, als die geodätischen Messungen, begangene Fehler aber wegen des Schlusses von kleinen gemessenen Gröſsen auf ungleich gröſsere leicht bedeutende Unrichtigkeiten herbeiführen, so sind einige der durch dieses Mittel erhaltenen Bestimmungen wo möglich noch abweichender, als dieienigen, welche aus den Gradmessungen gefunden wurden. Für den vorliegenden Zweck sind daher eigentlich nur die Resultate der neuesten Beobachtungen brauchbar, welche indeſs eben so genau unter sich übereinstimmen, als eine bisher unerwartet groſse Abplattung geben.

Daſs die Pendel unter niederen Breiten verkürzt werden müsse, um in gleichen Zeiten zu schwingen als in höheren.

äufserte zuerst Picard[1], und zur Prüfung dieser Muthmafsung erhielt Richer zu Cayenne unter etwa 5° N. B. den Auftrag, Beobachtungen hierüber zu machen. Er mufste sein Pendel um 1,25 Lin. verkürzen, und in Paris um ebensoviel wieder verlängern[2]. Aehnliche Erfahrungen machten Varin und Deshayes an der africanischen Küste[3], allein ihre Beobachtungen selbst sind für den vorliegenden Zweck viel zu ungenau. Die ersten Beobachtungen, welche man zur Bestimmung der Pendellänge unter verschiedenen Breiten benutzte, sind die durch Bouguer unter dem Aequator und in 9° 32′ 56″,4 angestellten, worauf dann mehrere Gelehrte nachfolgten, und an anderen verschiedenen Orten unter höheren Breiten die Pendellängen mafsen. Als Grundlage zur Bestimmung der Abplattung pflegte man bisher meistens diejenigen Pendellängen zu benuzzen, welche La Place[4] aus den Beobachtungen entnommen, auf das Niveau des Meeres und den luftleeren Raum reducirt, nach der Temperatur corrigirt und zur Bestimmung der Abplattung berechnet hat. Folgende sind die Beobachter nebst den Beobachtungsorten, den Breitengraden derselben und den corrigirten Pendellängen, die durch Bouguer in Paris gefundene als Einheit angenommen.

Bouguer;	Aequator	—	00°	00′	00″,0	— 0,99669
— —;	Porto bello	—	9	32	56,4	— 0,99689
Legentil;	Pondichery	—	11	55	30,0	— 0,99710
Campbel;	Jamaica	—	18	00	00,0	— 0,99745
Bouguer;	Goava	—	18	27	00,0	— 0,99828
Lacaille;	Cap	—	33	55	15,6	— 0,99877
Darquier;	Toulouse	—	43	35	45,6	— 0,99950
Liesganig;	Wien	—	48	12	46,8	— 0,99987
Bouguer;	Paris	—	48	50	2,4	— 1,00000
v. Zach;	Gotha	—	50	58	1,2	— 1,00006
Graham;	London	—	51	29	52,8	— 1,00018
Grischow;	Arensberg	—	58	14	52,8	— 1,00074
Mallet;	Petersburg	—	59	56	24,0	— 1,00101
Maupertuis;	Pello	—	66	47	52,8	— 1,00137
Mallet;	Ponoi	—	67	4	37,2	— 1,00148

1 Mésure de la Terre. Par. 1671. 8. art. 4.

2 Observations astronomiques et physiques faites à Cayenne. Par. 1670. fol.

3 S. oben.

4 Méc. cél. L. III. c. V. §. 42.

Neun Beobachtungen von diesen wurden mit einfachen Pendeln, nämlich einem schweren Körper (Platinkugel) an einem Faden hängend, dessen oberes Ende von einer Zwickzange festgehalten wurde, angestellt, die übrigen sechs, nämlich die zu Jamaica, London, Arensberg, Petersburg, Pello und Ponoi aus dem Gange dorthin gebrachter Uhren berechnet. Aus der Vergleichung aller findet La Place die Abplattung $= \frac{1}{335,78}$.

Weil dieses Resultat sehr nahe mit demjenigen übereinstimmt, welches man aus der Vergleichung der großen französischen Gradmessung mit der Peruanischen gefunden und der Bestimmung der Länge des Meters zum Grunde gelegt hatte, so begnügte man sich anfangs damit. Bald nachher aber, als die später zu erwähnenden Mittel zur Auffindung der Abplattung des Erdsphäroids zeigten, daß diese gefundene Größe zu geringe sey, zeigten sich bei genauerer Prüfung die Mängel der benutzten Pendellängenbestimmungen, und weil die aus Vermuthungen geschlossenen Correctionen die Sache zweifelhaft ließen[1], so wurde bei den Gelehrten das Verlangen stets reger, genauere Messungen der Pendellängen zu erhalten, um das so lange und oft versuchte Problem der Bestimmung der eigentlichen Erdgestalt endlich mit größerer Gewißheit gelöset zu sehen. Schließen wir vor der Hand die allerdings schätzbaren aber nicht fortgesetzten Versuche der Spanier aus, so waren es hauptsächlich nur zwei Nationen, welche sich dieses hohe Verdienst um die Wissenschaft mit großem Aufwande von Mühe und Kosten erwarben, nämlich die *Franzosen* und *Engländer*, und zwar gingen jene auch diesesmal hierin voran, wurden aber hinsichtlich der Ausdehnung der Bemühungen von diesen nach den bis jetzt bekannten Resultaten noch übertroffen. Schon bei der Ausrüstung der Entdeckungsreise unter La Peyrouse wurden diesem auf Veranlassung der Pariser Akademie der Wissenschaften die erforderlichen Apparate mitgegeben, um mit den nämlichen Pendeln an Orten von verschiedener geographischer Breite die Länge des Secundenpendels zu bestimmen, und hierdurch mehr Richtigkeit und Uebereinstimmung in die gefundenen Größen

---

1 v. Lindenau in Cor. astron. par le Baron de Zach. 1. cah. 2 findet aus den Pendellängen die Abplattung $= \frac{1}{315,269}$.

zu bringen. Die verunglückte Expedition gab in dieser Hinsicht keine Ausbeute, und der Mangel einer frei thätigen Seemacht nebst beschränkter Schifffahrt hinderte den guten Willen der eifrigen französischen Gelehrten. Unterdefs suchten Biot, Arago, Chaix, Mathieu und Bouvard die Pendellängen an den Hauptorten in dem durch ganz Frankreich gemessenen Meridiane zu bestimmen, und setzten diese Operationen, namentlich Biot, durch England bis zur Insel Unst fort. Sie fingen 1807 damit in Formentera an. und das ganze weitläuftige Unternehmen wurde erst 1817 beendigt, während welcher Zeit die Beobachtungen oft unterbrochen wurden [1]. Die Kenntnifs dieser Operationen und insbesondere das auffallend abweichende Resultat, welches die englische Gradmessung zur Bestimmung der Erdgestalt gegeben hatte, bewog die Engländer zu dem Wunsche, ihre übrigens mit so grofser Genauigkeit ausgeführten geodätischen Messungen zu controliren. Davies Gilbert brachte den Gegenstand im Parlamente in Anregung, man wandte sich 1816 an den damaligen Prinz Regenten, und Captain Kater erhielt den Auftrag zur Ausführung. Dieser bestimmte die Pendellängen an den Hauptorten der geodätischen Messung, zuvor aber die absolute Länge des Secundenpendels in London mit der gröfsten Schärfe, und führte insbesondere den Gebrauch der *unveränderlichen Pendel* allgemeiner ein, welche in London sämmtlich auf gleiche Weise verfertigt, mit dem von ihm gebrauchten verglichen, dann sorgfältig eingepackt und versandt werden können, so dafs man hiernach ein sicheres Mittel besitzt, die gehörig corrigirten Pendelschwingungen an den entlegensten Orten mit einander zu vergleichen, und dabei auf der einen Seite weder Fehler in der Messung der Länge des jedesmal gebrauchten Pendels, noch auch solche zu fürchten hat, welche aus einer Beschädigung desselben hervorgehen könnten. indem sie nach der Zurücksendung abermals an dem ursprünglichen Hauptbeobachtungsorte verglichen werden.

---

1 Die erste Reihe von Beobachtnngen zu Formentera, Figeac, Bourdeaux, Clermont, Paris und Dünkirchen unter sich verglichen, und nach der unten angegebenen Methode berechnet giebt die Abplattung $= \frac{1}{297,7}$ nach Biot Astron. III. 169. Es scheint fast, als hätte dieser Gelehrte später sich absichtlich bemühet, aus allen Beobachtungen die durch La Place bestimmte Abplattung zu finden.

Außer den Beobachtungen, welche Kater selbst mit solchen Pendeln anstellte, wurden daher noch einzelne in niederen Breiten gemacht, und noch wichtiger war es wohl, daſs Capt. Sabine solche Pendel bei einer der neuesten Nordpolarexpeditionen mitnahm, um unter sehr hohen nördlichen Breiten die Längen des Secundenpendels zu messen, und hieraus mit gröſserer Sicherheit die Abplattung der Erde zu finden. Inzwischen ergab sich insbesondere aus den in England angestellten Beobachtungen, wie nicht minder aus den oben erwähnten französischen und einer Vergleichung derselben sowohl unter sich als auch mit einander, daſs das Pendel auf eine unerwartet bedeutende Weise durch Localanziehungen afficirt werde, und sowohl die englischen als auch die französischen Gelehrten kamen daher in der Ueberzeugung überein, daſs auf einen verhältniſsmäſsig so kleinen Theil des Meridians beschränkte Versuche die Abplattung des Erdsphäroids nicht mit der erforderlichen Sicherheit geben würden. Hieraus entstand bei beiden Nationen der Wunsch, diese Messungen auf noch entferntere Gegenden auszudehnen. Die Franzosen richteten dabei ihr Augenmerk hauptsächlich zugleich auf die Entscheidung der Frage, ob die beiden Hälften der Erdkugel, die südliche und die nördliche, eine wesentlich verschiedene Gestalt hätten, wie man in Gemäſsheit der Capischen Gradmessung durch La Caille so lange angenommen hat, und es war daher eine Hauptaufgabe der Entdeckungsreisen von Freycinet und Düperrey, diesen Gegenstand durch Pendelversuche an mehreren Orten auf der südlichen Halbkugel mit Sicherheit auszumitteln. Directer zur Erreichung des vorliegenden Hauptzweckes führte die Expedition, wozu sich die Engländer entschlossen. Es wurde nämlich der Capt. Sabine auf einem eigends hierzu ausgerüsteten Kriegsschiffe im Jahre 1822 abgesandt, um unter dem Aequator und in der Nähe desselben die Länge des einfachen Secundenpendels zu messen, und als er sich bei diesen Operationen abermals von der beträchtlichen Localeinwirkung der Beobachtungsorte überzeugte, woraus also die Nothwendigkeit hervorging, die hieraus entspringenden Fehler durch die Ausdehnung der Messungen über einen gröſseren Bogen unschädlicher zu machen, so bat er schon in Voraus um die Ausrüstung einer zweiten Expedition nach dem hohen Norden, und fand daher bei seiner Rückkunft alles dazu vorbereitet, um auf einem der Schiffe,

welche für **Parry** zu der Nordpolarexpedition eigends eingerichtet waren, dem Griper, abzusegeln, und die Beobachtungen an den Küsten von Norwegen, Grönland und Spitzbergen fortzusetzen. Leider verstattete die Zeit nicht, die Versuche auch auf Island anzustellen, welche Insel nicht sowohl wegen ihrer nördlichen Lage als hauptsächlich wegen der Beschaffenheit ihres Bodens über verschiedene wichtige Fragen durch solche Beobachtungen Aufschlufs geben würde. Die Resultate aller dieser höchst schätzbaren Versuche, welche nur durch den Aufwand grofser, die Wissenschaften ernstlich befördernder, Staaten möglich werden, und ihnen daher zum unvergänglichen Ruhme gereichen, sind in den folgenden Zusammenstellungen so weit benutzt, als bis jetzt das Publicum davon in Kenntnifs gesetzt ist[1]. Zuvor ist indefs zur richtigen Beurtheilung der ganzen Sache noch Folgendes zu berücksichtigen.

1. Die individuelle Beschaffenheit der Pendel, deren man sich zu diesen Bestimmungen bedient, ist eigentlich ganz gleichgültig, nothwendige Bedingung dabei ist aber, dafs sie sich während der Dauer der Beobachtung auf keine Weise ändern. Inzwischen bringt es die Wichtigkeit der Aufgabe und die Feinheit der Versuche von selbst mit sich, dafs man nur äufserst sorgfältig gearbeitete Instrumente hierzu gebrauchen kann. Aufserdem aber müfsten die Messungen eigentlich mit einem mathematischen, im luftleeren Raume schwingenden Pendel vorgenommen werden, und da es ein solches nicht giebt, so erfordert das wirklich gebrauchte physische Pendel gar viele Correctionen, um dieses auf jenes zu reduciren. Sowohl die Construction solcher Pendel im Allgemeinen, als auch die erforderlichen

---

1 Die literärischen Nachweisungen dieser kurzen geschichtlichen Uebersicht finden sich unten bei den einzelnen Angaben. Folgende ältere Pendelmessungen, welche von mir nicht benutzt sind, mögen zu einer künftigen Vergleichung hier nur historisch erwähnt werden. Nach **Steph. Rumovski** war die Länge eines aus Paris nach *Petersburg* gebrachten Pendels = 440,55 Lin. Nach diesem aus den Schwingungen gemessen war die Länge desselben zu *Kola* unter 63° 52′ 30″ = 441,34; zu *Archangepolis* unter 64° 33′ = 441,15 Par. Lin. Nach demselben Mafse ausgedrückt soll das Pendel in *Pello* = 441,17; in Ponoi 441,22; in *Petersburg* 441,02 seyn. S. Nov. Com. Pet. XVI. 567. **Henry** findet die Länge des einfachen Secundenpendels in *Petersburg* = 441,08 Par. Lin. S. Nov. Act. Pet. XI. 524. Noch andere S. ebend. VII. 215.

Correctionen gehören unter den Artikel *Pendel*, die in der Folge vorkommenden, und zur Berechnung benutzten Angaben sind aber die schon corrigirten.

2. Zur Bestimmung der Excentricität der Erdmeridiane ist eigentlich erforderlich, die Pendellängen an den verschiedenen Beobachtungsorten zu kennen. Hiernach ist also die absolute Länge desjenigen Pendels, worauf man die gesammten gemessenen Längen bezieht, ganz gleichgültig, allein wegen leichterer Uebersicht und bequemerer Messung wählt man in der Regel das Secundenpendel, und zwar entweder dasjenige, welches Secunden nach mittlerer Sonnenzeit oder nach Sternenzeit schwingt. Die Messung der absoluten Länge eines solchen Pendels ist indeſs höchst schwierig, und ebenso ist es nicht bloſs schwer, sondern auch sehr zeitraubend, ein solches genaues Secundenpendel an den verschiedenen Stationen herzustellen. Man wählt daher einen weit kürzeren und leichteren, obendrein aber noch sicherern Weg, indem man nur für einen einzigen Normalort die absolute Länge des Secundenpendels bestimmt, und für die übrigen Beobachtungspuncte die Längen aus den Schwingungen selbst bestimmt. In dieser Hinsicht genügt es nur im Allgemeinen zu bemerken, daſs nach der Theorie des Pendels, wenn die Länge des einen, welches n Schwingungen in einer gegebenen Zeit macht, $= l$ ist, die Länge eines andern, welches n' Schwingungen in der nämlichen Zeit vollendet, $l' = l \frac{n'^2}{n^2}$ ist[1].

3. Die Zahl der Schwingungen eines Pendels in einer gegebenen Zeit, wozu meistens ein ganzer Tag genommen wird, kann nur dann mit Genauigkeit gefunden werden, wenn man dasselbe eine längere Zeit beobachtet. Weil aber eine solche anhaltende Zählung der Oscillationen eben so mühsam als wegen des möglichen Verzählens leicht unsicher seyn würde, so hat man ein einfacheres und völlig sicheres Mittel gewählt, indem man die Linse des schwingenden Pendels und die einer richtig gehenden Uhr zugleich beobachtet, und bloſs ihre Coincidenzen, in einer gewissen Zeit bemerkt, woraus dann die gesammte Zahl der Schwingungen berechnet werden können, wie gleichfalls unter dem Artikel *Pendel* gezeigt werden wird.

---

1 Vergl. *Pendel*.

Eine andere, von FREYCINET angewandte Methode des Zählens ist unten beschrieben.

4. Man könnte sich zur Messung überhaupt eines gewöhnlichen Uhrpendels bedienen. Allein weil dieses bei jeder Oscillation einen kleinen Impuls durch den Mechanismus der Uhr erhält, damit es nicht still steht, dieser aber auf seinen Gang einigen Einfluſs hat, so bedient man sich eines solchen zunächst nur zur Controle und zum Zählen der Schwingungen des freien Pendels.

5. Daſs die geographische Breite des Beobachtungsortes zugleich genau bestimmt werden müsse, versteht sich wohl von selbst, und darf nur beiläufig erwähnt werden. Auſserdem aber haben eben die neuesten Versuche dargethan, daſs die *geognostische Beschaffenheit der Beobachtungsörter* von weit gröſserem Einflusse durch die örtliche Anziehung sey, als man früher voraussetzte.

6. Bei der Berechnung der Abplattung aus den an verschiedenen Orten gemessenen Pendellängen ist Folgendes zu berücksichtigen. Es ergiebt sich zuvörderst aus den in der Folge zu erörternden Gründen, daſs die Erde, wenn man sie als ursprünglich flüssig betrachtet, bei ihrer Rotation eine ellipsoidische Gestalt annehmen muſste, um in den Zustand des Gleichgewichts aller ihrer gesammten Schichtungen zu kommen. Wird also diese Form und die Bedingung einer überall gleichen Dichtigkeit vorausgesetzt, so verhalten sich die Schweren in verschiedenen Puncten eines Meridians (oder verschiedener Meridiane bei gleichen Breiten und unter der Bedingung einer gleichmäſsigen Krümmung aller Meridiane) wie die Normallinien der elliptischen Bogen, die Cubi der Normallinien aber wie die Krümmungskreise, oder bei der Kleinheit der Bogen wie die Meridiangrade, die Pendellängen aber verhalten sich wie die Schweren, und somit müssen sich die Würfel der Pendellängen wie die Meridiangrade verhalten[1]. Man kann sich also der oben angegebenen *Maupertuis'schen Formel* zur Berechnung der Abplattung aus den Pendellängen bedienen. Sind also die gemessenen Pendellängen L und l die zugehörigen Breitengrade φ und ψ, so ist wie oben

---

1 BOHNENBERGER Astronomie S. 639.

$$d = \frac{L^3 - l^3}{3(L^3 \operatorname{Sin.}^2 \varphi - l^3 \operatorname{Sin.}^2 \psi)}.$$

Diese Formel ist indeſs nicht bequem, und giebt auſserdem die Abplattung nicht unmittelbar, weil die Bedingungen derselben bei der Erde nicht statt finden. Ungleich leichter findet man das gesuchte Resultat auf folgende Weise. Aus Gründen, welche in der Folge entwickelt werden, nimmt man an, daſs der Halbmesser des Aequators sich zur halben Axe verhält, wie die Schwere unter dem Pole zur Schwere unter dem Aequator, oder wie die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Pole zur Länge desselben unter dem Aequator. Es ergiebt sich ferner aus den Gesetzen der Schwere in Verbindung mit denen der Schwungkraft, daſs die Schwere vom Aequator nach den Polen der Quadraten des Sinus der Breite proportional zunimmt[1], und dieser Zunahme muſs daher auch die der Pendellängen gleich seyn. Mit diesen Hülfsmitteln läſst sich also aus zwei unter verschiedenen Breiten gemessenen Pendellängen die absolute Pendellänge unter dem Aequator und unter dem Pole, desgleichen der Unterschied beider, und somit das Verhältniſs der Erdaxen finden. Heiſst diesemnach die Pendellänge unter dem Aequator x, die Zunahme derselben unter dem Pole y, sind ferner die unter den Breiten φ und ψ gemessenen Pendellängen l und L, so ist

$$l = x + y \operatorname{Sin.}^2 \varphi$$
$$L = x + y \operatorname{Sin.}^2 \psi$$

also $$y = \frac{L - l}{\operatorname{Sin.}(\psi + \varphi) \operatorname{Sin.}(\psi - \varphi)}.$$

Ist hierdurch y bestimmt, so kann aus jeder Gleichung auch x gefunden werden, und aus diesen beiden Gröſsen würde die Abplattung unmittelbar $= \frac{x + y - x}{x}$ oder $\frac{y}{x}$ seyn, wenn die Bedingung einer gleichmäſsigen Dichtigkeit der einzelnen Schichtungen des Erdellipsoid's statt fände. Diese widerstreitet indeſs schon dem groſsen Drucke, welchen die unteren Schichten nothwendig erleiden müssen. Inzwischen hat Clairaut durch scharfsinnige Combinationen das merkwürdige, durch spätere Forschungen vielfach bestätigte Theorem aufgestellt, *daſs die Zunahme der Schwere am Pole nebst der Excentricität gleich*

1 S. *Schwere* No. 8.

ist dem zwei und einhalbfachen des Verhältnisses der Schwungkraft unter dem Aequator zur Schwere, wenn man annimmt, daſs ein um seine Axe rotirendes elliptisches Sphäroid aus Schichten von ungleicher, von der Oberfläche nach dem Centrum zunehmender Dichtigkeit bestehend, in den Zustand des Gleichgewichts seiner Theile kommen soll. Heiſst also die Excentricität des Erdellipsoids e, das Verhältniſs der Schwungkraft unter dem Aequator zur Schwere k, so ist

$$\frac{y}{x} + e = 2{,}5\,k$$

$$\text{also } e = 2{,}5\,k - \frac{y}{x}$$

wonach die Abplattung aus den gefundenen Pendellängen berechnet zu werden pflegt[1].

Es sind oben die spanischen Messungen erwähnt, welche unter die frühesten und umfassendsten gehörend hier der Vollständigkeit wegen nicht übergangen werden dürfen, obgleich sie zu keinem genügenden Resultate führen, und daher von denjenigen auszuschlieſsen sind, welche zur Entscheidung der vorliegenden Frage dienen können. Das spanische Gouvernement gab nämlich dem Commandanten der beiden Fregatten Descubierta und Atrevida, dem Alexander Malaspina, ein unveränderliches Pendel mit, bestehend aus einer in Oel getränkten fichtenen Stange mit einer messingenen Linse, womit dieser in den Jahren 1789 bis 1794 zusammen an 16 Puncten vom 51° 21′ S. B. bis 59° 30′ N. B. die Schwingungen zählte. Die erhaltenen Gröſsen wurden nachher durch Ciscar[2] berechnet, allein er verglich dieselben zunächst mit demjenigen Resultate, welches La Place aus den oben mitgetheilten 15 Messungen erhielt, wonach die Abplattung zwischen $\frac{1}{321}$ und $\frac{1}{336}$ fällt. Eine Zusammenstellung einzelner Messungen gab ihm bedeutend abweichende Resultate, nämlich aus denen von Mulgrave und Nutka erhielt er die Abplattung $= \frac{1}{310}$; von Mulgrave, Nutka,

1 Mehreres hierüber s. unten D. Ausführlich wird dieser Gegenstand ferner behandelt durch Puissant a. a. O. II. 290, und mehrere Geometer.

2 Mon. Cor. XXV. 467.

Montery und Cadix $=\frac{1}{285}$; von Puerto Egmont und Helena $=\frac{1}{323}$; von diesen, Conception, Monte Video und Port Jackson $\frac{1}{318}$.

Indefs haben sich v. LINDENAU[1] und MATHIEU die Mühe genommen, die Originalbeobachtungen so gut als es bei den unbestimmten Angaben möglich war zu corrigiren, insbesondere rücksichtlich des Einflusses der Feuchtigkeit auf die Pendelstange[2], und die so verbesserten Werthe nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen. Die bloſse Angabe der Beobachtungsörter erregt lebhaftes Bedauern, daſs die Versuche selbst nicht mit gröſserer Genauigkeit angestellt wurden, weil sie sonst rücksichtlich ihrer Ausdehnung über die südliche Halbkugel vorzugsweise geeignet wären, die streitige Frage zur Entscheidung zu bringen, und auf allen Fall die Regelmäſsigkeit der Gestalt beider Halbkugeln darzuthun. Auf der nördlichen Halbkugel nämlich wurden die Schwingungen des Secundenpendels gemessen zu *Mulgrave*, *Nutka*, *Monterey*, *Cadix*, *Macao*, *Acapulco*, *Manilla*, *Umatag*, *Zamboanga*, und unter dem *Aequator*, welche nach der Berechnung von Mathieu die Abplattung $=\frac{1}{323,2}$ geben. Auf der südlichen Halbkugel dagegen geschah dieses unter dem Aequator, in *Lima*, auf der Insel *Babao*, zu *Port Jackson*, *Monte-Video*, *Conception*, *Port St. Helena*, *Port Egmont*, und diese gaben[3] die Abplattung $=\frac{1}{311,5}$. Daſs es zulässig seyn sollte, von dieser Verschiedenheit einen Schluſs auf die Ungleichheit der Gestalt beider Erdhälften herzunehmen, wird durch dasjenige widerlegt, was in der Folge hierüber vorkommt.

---

1 Ebend.

2 Die neuesten Versuche von FREYCINET ergeben, daſs eine hölzerne Pendelstange für dergleichen feine Messungen unbrauchbar sey. S. unten.

3 Gleichfalls nach MATHIEU. Sehr nahe übereinstimmend findet v. LINDENAU für jenes $\frac{1}{324,6}$, für dieses $\frac{1}{310,6}$.

a) Unter den genaueren, zur Entscheidung über die Excentricität des elliptischen Erdsphäroid's allerdings geeigneten Beobachtungsreihen steht die neuere französische billig voran. Nehmen wir zuerst bloſs die in Frankreich selbst angestellten so, wie sie durch MATHIEU berechnet sind[1], so geben diese folgende Werthe.

Oerter	Breiten	gemessene Pendel	verbesserte Pendel	Beobachter
Formentera	38° 39′ 56″	0,74120612 m	0,7412527 m	BIOT; ARAGO; CHAIX
Figeac	44 36 45	0,74157308	0,7416243	BIOT; MATHIEU
Bourdeaux	44 50 25	0,74161515	0,7416151	dieselben
Clermont	45 46 48	0,74162111	0,7417157	dieselben
Paris	48 50 14	0,74191167	0,7419303	dieselben; BOUVARD
Dünkirchen	51 2 8	0,74208649	0,7420865	BIOT; MATHIEU.

Sie geben folgende Gleichungen

$$\begin{aligned}
&\overset{m}{0},7412527 - x - y \cdot 0,3903417 = D^1\\
&0,7416243 - x - y \cdot 0,4932370 = D^2\\
&0,7416151 - x - y \cdot 0,4972122 = D^3\\
&0,7417157 - x - y \cdot 0,5136117 = D^4\\
&0,7419303 - x - y \cdot 0,5667721 = D^5\\
&0,7420865 - x - y \cdot 0,6045628 = D^6\\
\hline
&0,7417041 - x - y \cdot 0,51095625 = 0
\end{aligned}$$

Hieraus wird die zweite Reihe der Bedingungsgleichungen erhalten:

$$\begin{aligned}
&0,2893418390 - x \cdot 0,3903417 - y \cdot 0,1523666428\\
&0,3657965449 - x \cdot 0,4932370 - y \cdot 0,2432827382\\
&0,3687400754 - x \cdot 0,4972122 - y \cdot 0,2472199718\\
&0,3809538616 - x \cdot 0,5136117 - y \cdot 0,2637969784\\
&0,4205053942 - x \cdot 0,5667721 - y \cdot 0,3212306133\\
&0,4486378923 - x \cdot 0,6045628 - y \cdot 0,3654961791\\
\hline
&0,3789959345 - x \cdot 0,51095625 - y \cdot 0,2655655206 = 0
\end{aligned}$$

---

1 Con. des Tems. 1816 p. 330. Ich nehme diese so viel lieber auf, weil dadurch auch metrische Gröſsen unter den berechneten Längen sich finden.

Hieraus erhält man

$$x.\ 0{,}0044892312 - 0{,}0033206939 = 0,$$

woraus

$$x = 0{,}7397021343;\ y = 0{,}0039180769,$$

die Abplattung aber

$$0{,}00865 - \frac{y}{x} = 0{,}0033532 = \frac{1}{298{,}2}$$

gefunden wird. Die Gröfse dieses gefundenen Werthes fiel Mathieu auf, weil sie diejenige bei weitem übertrifft, welche man aus der Summe der astronomischen und geodätischen Bestimmungsmittel gefunden hatte. Läfst man indefs die Beobachtung von *Figeac* weg, welche offenbar fehlerhaft seyn mufs, weil sie mit der folgenden zu *Bourdeaux* verglichen eine negative Abplattung giebt, so kommt die dann aus den fünf übrigen Messungen gefundene demjenigen Resultate noch näher, welches wir nach späteren genauen Bestimmungen als das richtigere ansehen müssen. Man erhält nämlich alsdann aus den fünf übrigen Angaben die beiden Bedingungsgleichungen:

$$0{,}74172006 - x - y.\ 0{,}5145001 = 0$$

und

$$0{,}3816358125 - x.\ 0{,}5145001 - y.\ 0{,}27002207708,$$

aus welchen

$$x = 0{,}7397274 \text{ und } y = 0{,}003873$$

gefunden wird, wonach

$$0{,}00865 - \frac{y}{x} = 0{,}003414287 = \frac{1}{292{,}89}$$

die Abplattung ist.

Biot setzte die Beobachtungen nachher allein bis über Frankreich hinaus fort, verglich das gebrauchte Pendel mit demjenigen, dessen sich Kater bedient hatte, und vermehrte die erhaltenen Bestimmungen noch durch zwei, welche er zu *Fort Leith* und am äufsersten Ende auf der schottländischen Insel *Unst* erhielt. Hierdurch wurde der zur Bestimmung dienende Theil des Meridians bedeutend gröfser, die Zahl der durch Messung erhaltenen Pendellängen wurde aber nur um zwei vermehrt, so dafs also die ganze Summe derselben acht beträgt. Biot befolgt bei ihrer Berechnung folgende Methode[1]. Dieje-

---

1 Recueil d'Observations géodésiques, astronomiques et physiques, exécutées par ordre du bureau des Longitudes de France, en

nigen Beobachtungen, welche auf kleinen Inseln von gleicher geognostischer Beschaffenheit gemacht waren, und bei dem Mangel örtlicher Anziehung den längsten Bogen umfaſsten, zu *Formentera* und *Unst*, dienen ihm als Grundlage zur Bestimmung von y. Bei den Beobachtungen wurde ein Centesimal-Pendel (welches 100000 Schwingungen in einem Tage vollendet) gebraucht, und hierfür findet er die auf die Meeresfläche und den leeren Raum reducirte Länge in Millimetern

$$x = 739{,}704212 \text{ und } y = 3{,}965212.$$

Es ist dann $\frac{y}{x} = 0{,}005360536$

und indem er $k = \frac{1}{289{,}017} = 0{,}00346$ annimmt, so ist

$\frac{5}{2}k = 0{,}00865$, mithin ist

$$e = 0{,}00865 - 0{,}005360536 = 0{,}003289464 = \frac{1}{304}.$$

Man erwartet, daſs mit diesem Resultate die übrigen verglichen seyn sollten, allein Biot unterläſst dieses, und weil La Place aus der Vereinigung aller verschiedenen Bestimmungsmittel der Abplattung diese $= 0{,}00326$ oder $\frac{1}{306{,}75}$ gefunden hat, welchem Werthe sich der aus den beiden Pendelbeobachtungen berechnete allerdings sehr nähert, so substituirt er diese Bestimmung La Place's in die Formel, und vergleicht hiermit die gesammten beobachteten Pendellängen. Wird also dieser Werth von e substituirt, so ist

$$0{,}00865 - \frac{y}{x} = 0{,}00326$$

woraus $y = x.\ 0{,}00539$, also $l = x\,(1 + 0{,}00539\ \text{Sin.}^2\,\varphi)$ wird, den Werth von x giebt dann die Beobachtung von *Unst*, und sonach ist in Millimetern

$$x = 739{,}687686;\ y = 3{,}9683917,$$

mithin $l = 739{,}687686 + 3{,}9863917\ \text{Sin.}^2\,\varphi$. Eine Zusammenstellung der hiernach berechneten und der durch Beobachtung gefundenen Längen giebt folgende Uebersicht.

Espagne, en France, en Angleterre et en Écosse cet. redigé par M. M. Biot et Arago. Par. 1821. 4. p. 573.

Beobachtungs-Ort.	Breiten	Länge des Dec. Sec. Pendels		Unterschied
		beobachtet	berechnet	
Unst	60° 45′ 25″	742,723136	742,723136	0,000000
Fort Leith	55 58 37	742,426416	742,413435	+0,012981
Dünkirchen	51 2 10	742,098066	742,077030	+0,021036
Paris	48 50 14	741,947360	741,917490	+0,029870
Clermont	45 46 48	741,735412	741,705180	+0,030232
Bordeaux	44 50 26	741,670048	741,608720	+0,061328
Figeac	44 36 45	741,654181	741,612280	+0,041900
Formentera	38 39 56	741,243950	741,252000	—0,008050

Es ergiebt sich aus dieser Zusammenstellung, da alle Differenzen, bis auf eine noch, positiv sind, daſs die Beobachtungen weit besser zu der anfangs berechneten als zu der nachher substituirten Abplattung passen, allein weil man früher dieselbe stets geringer gefunden hatte, so schien sie zu groſs, und es lag also hauptsächlich daran zu zeigen, daſs die Messungen auch mit der zuletzt von La Place angenommenen Abplattung ohne auffallende Abweichungen vereinbar seyen. In der Folge wird sich ergeben, daſs sie mit der Voraussetzung einer noch stärkeren Abplattung sogar besser übereinstimmen.

b) Eine sehr schätzbare Reihe von Messungen der Pendellängen ist die durch Capt. Kater mit seinem unveränderlichen Pendel angestellte[1]. Die erhaltenen Resultate, auf die Länge des im Niveau des Meeres und im luftleeren Raume in einem Tage mittlerer Sonnenzeit Sexagesimalsecunden schwingenden Pendels nach englischen Zollen sind folgende.

Beobachtungs-Ort.	Breiten	Schwingungen	Längen
Unst	60° 45′ 28″,01	86096,90	39,17146
Portsoy	57 40 58,65	86086,05	39,16159
Forth-Leith	55 58 40,80	86079,40	39,15554
Clifton	53 27 43,12	86068,90	39,14600
Arbury-Hill	52 12 55,32	86065,05	39,14250
London	51 31 8,40	86061,52	39,13929
Shanklin-Farm	50 37 23,94	86058,07	39,13614

1 Phil. Tr. 1819. 330 u. 416.

Auch KATER bestimmt auf die oben angegebene Weise aus den Beobachtungen an den beiden Endpuncten der ganzen Station, nämlich *Unst* und *Dunnose* (Shanklin - Farm) die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator in engl. Zollen = 39,00734, und indem hiernach, wenn diese Länge = 1, der Fallraum in einer Secunde = g aus der Formel $g = \frac{1\pi^2}{2} = 16{,}0412$ engl. F. gefunden ist, das Verhältniſs der Schwungkraft zur Schwere unter dem Aequator $\frac{1}{289{,}014} = k$ beträgt, so wird $\frac{5}{2}k = 0{,}0086501$, wie oben, wonach also die Abplattung $e = 0{,}0086501 - \frac{y}{x}$ gefunden werden kann. Letztere erhält KATER aus der Vergleichung der Pendellängen an den verschiedenen Beobachtungsorten unter einander in sehr abweichenden Resultaten, welche zwischen den beiden Extremen $\frac{1}{597{,}5}$ und $\frac{1}{229{,}6}$ liegen, als mittleres Resultat aber $\frac{1}{333{,}71}$ und mit Weglassung des einen, offenbar unrichtigen, geringsten Werthes, im Mittel $\frac{1}{319{,}82}$ geben. Daſs diese Abplattung zu geringe sey, würde man auch ohne die nachfolgenden späteren Versuche voraussetzen. Indeſs versichert KATER, daſs die Bestimmungen der Pendellängen nicht um $\frac{1}{400000}$ unrichtig seyn könnten, und die Abweichungen müſsten daher aus Localanziehungen erklärt werden, indem er nicht geneigt ist, eine Unregelmäſsigkeit der Erdgestalt im Allgemeinen anzunehmen, zu deren Bestimmung auſserdem weiter entfernte Stationen von genau bekannter geognostischer Beschaffenheit erforderlich seyn würden. Einen solchen gleichen geognostischen Charakter des Bodens fand er an den Stationen *Portsoy*, *Unst* und *Arbury-Hill*, und da diese die Abplattung $= \frac{1}{304}$ und $\frac{1}{310}$ gaben, so glaubt er, die eigentliche Gröſse müsse zwischen diesen in der Mitte liegen, welches also abermals auf die oben angegebene Bestimmung LA PLACE's führen würde.

Diese Versuche zeigten die Bedeutsamkeit örtlicher Anzie-

hungen, und erklärten allerdings die abweichenden und zum Theil der Natur der Sache offenbar widersprechenden Resultate der geodätischen Messungen, zugleich aber machten sie das Bedürfnifs stets fühlbarer, zur Bestimmung der Ellipticität Pendelbeobachtungen unter dem Aequator selbst oder in seiner Nähe angestellt zu besitzen. Zu diesem Ende erhielten einige dorthin reisende Physiker gleiche Pendel, als diejenigen, deren sich KATER bedient hatte, und die Vergleichung ihrer Messungen mit den eben genannten zeigte denn allerdings bald, dafs die Abplattung gröfser sey, als sie aus den letzteren allein gefunden war. Ich übergehe sie vorerst, um zuvor einige andere Reihen von correspondirenden Beobachtungen anzugeben.

c. Eine interessante Reihe von Beobachtungen stellte Cap. SABINE an, als er zu diesem Zwecke und zur Untersuchung des Erdmagnetismus den Cap. PARRY auf dessen erster Entdekkungsreise zur Auffindung einer nordwestpolaren Durchfahrt begleitete. Die Versuche in den hohen Breiten waren mühsam, schwierig, und wie es scheint, ihre Resultate unsicher, wenigstens vermuthe ich dieses daher, weil SABINE dieselben in seine spätere Zusammenstellung nicht mit aufgenommen hat. Eigentlich ungenau können sie inzwischen nicht seyn, und so dürfen sie wegen der hohen Breiten der Beobachtungsorte auf allen Fall als ein schätzbarer Beitrag angesehen werden. Die Resultate zeigt folgende Zusammenstellung[1].

Beobachtungs-Ort.	Breiten	Schwingungen	Längen
London	51° 31′ 08″,4	86497,400	39,13929
Brassa	60 09 42,0	86530,507	39,16929
Hare-Island	70 26 17,0	86562,639	39,19840
Melville	74 47 12,4	86572,134	39,20700

Die Vergleichung derselben unter einander nach der oben angegebenen Methode giebt folgende Resultate.

1 Phil. Tr. 1821. II. p. 165. Vergl. J. d. Ph. XCIII. 149. BIOT bei G. LXIX. 352. Con. des Tems. 1825. p. 265.

Oerter.	Verminderung der Schwere.	Abplattung
London u. Brassa	0,0055066	$\frac{1}{314,3}$
London u. Hare J.	0,0055082	$\frac{1}{314,2}$
Brassa u. Hare J.	0,0055139	$\frac{1}{313,6}$
London u. Melville	0,0055258	$\frac{1}{312,6}$

d) Von grofser Wichtigkeit sind ferner diejenigen Pendelmessungen, welche die Französischen Gelehrten während der wissenschaftlichen Reise unter dem Commando des Capitain Freycinet anstellten[1]. Sie bedienten sich hierbei dreier unveränderlicher Pendel mit messingnen Stangen von Fortin, und eines vierten mit hölzerner Stange von Bréguet, fanden aber den Gang des letzteren zu wenig regelmäfsig, und haben daher die Resultate jener zuerst für sich allein berechnet. Diese Pendel wurden auf einem aus drei Stützen von Gufseisen bestehendem Stative aufgehangen, welches auf einem Grunde aus Mauerwerk aufgestellt, und zur Abhaltung des Luftzuges mit einem Glaskasten umgeben war. Um die Schwingungen zu zählen, verglichen sie diese nicht mit einer Pendeluhr vermittelst der Coincidenzen der beiderseitigen Schwingungen[2], sondern mit einem astronomischen Secundenzähler, dessen Linse beweglich war, so dafs derselbe gleichzeitig schwingend mit dem Pendel gemacht werden konnte, und dann wurde dieser Secundenzähler wieder durch zwei Beobachter mit den astronomisch regulirten Chronometern verglichen. Der richtige Gang des Secundenzählers kommt zwar bei der gewählten Beobachtungsmethode nicht in Betrachtung, ob aber ein vollständiger Isochronismus seiner Schwingungen und derer des gemessenen Pendels bei sehr kleinen Schwingungsbogen des letzteren jederzeit erhalten wurde, dieses bleibt mindestens fraglich. Dazu ist es zweifelhaft, ob ein frisch gemauertes, und also wankendes oder elastisches Fundament, selbst bei übergelegten gehauenen Steinplatten, dem Stative des Pendels für so feine Messungen eine

---

1 Voyage autour du Monde entrepris par Ordre du Roi etc. par M. Louis de Freycinet etc. Observations du Pendule. Par. 1826. 4.

2 Vergl. *Pendel.*

hinlängliche Festigkeit gewährte. Endlich konnten kleine Fehler dadurch einschleichen, daſs zwei Beobachter[1] zur Messung der Zeit sich durch einen Laut (le mot: *top*) ein Signal gaben, und dieser Fehler wurde constant, wenn die Beobachter nicht wechselten[2]. Eine genaue Prüfung der mit groſser Sorgfalt angestellten und mit ausnehmendem Fleiſse berechneten Beobachtungen kann zwar hier nicht mitgetheilt werden, allein diese wenigen Bemerkuugen sind nöthig, um es zu rechtfertigen, wenn ich den erhaltenen Resultaten diejenige Beweiskraft nicht zugestehe, welche Freycinet ihnen beilegt, um so mehr, als die geognostische Beschaffenheit der Beobachtungsorte überall nicht angegeben und berücksichtigt ist.

Aus den, an 9 verschiedenen Orten angestellten, auf die erforderliche Weise sorgfältig corrigirten[3] Messungen ergeben sich nämlich die folgenden für das Niveau des Meeres, den leeren Raum und 20° C. der Temperatur corrigirten Schwingungen und Längen des einfachen Secundenpendels für Sexagesimalsecunden in der Art und Reihenfolge, wie sie durch Freycinet zusammengestellt sind.

Beobachtungsort	Breiten	Schwingungen	Längen
Paris	48° 50′ 14″n	86400″,000	1,00002271
Rio de Janeiro	22 55 13 s	86306,471	0,99783538
Cap d. gut. Hoff.	33 55 15 s	86344,289	0,99871582
Ile de France	20 9 56 s	86310,572	0,99794215
Insel Rawak	0 1 34 s	86273,927	0,99709575
— Guam	13 27 51 n	86296,484	0,99759331
— Mowi	20 52 7 n	86310,399	0,99792816
Port Jakson	33 51 34 s	86346,519	0,99877424
Malvinen	51 35 18 s	86409,520	1,00022319.

Werden diese auf die bekannte Weise nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, so geben sie folgende Bedingungsgleichungen.

---

1 a. a. O. p. 9.

2 Vergl. Th. I. Art. *Beobachtung*. S. 887.

3 Vergl. *Pendel*.

$$1{,}00002271 - x - y.0{,}56677227 = D^1$$
$$0{,}99783538 - x - y.0{,}15167121 = D^2$$
$$0{,}99871582 - x - y.0{,}31141614 = D^3$$
$$0{,}99794215 - x - y.0{,}11884146 = D^4$$
$$0{,}99709575 - x - y.0{,}00000021 = D^5$$
$$0{,}99759331 - x - y.0{,}05421317 = D^6$$
$$0{,}99792816 - x - y.0{,}12689703 = D^7$$
$$0{,}99877424 - x - y.0{,}31042450 = D^8$$
$$1{,}00022319 - x - y.0{,}61397729 = D^9$$
$$\overline{0{,}99845897 - x - y.0{,}25046814 = 0}$$

$$0{,}56678514 - x.0{,}56677227 - y.0{,}32123808$$
$$0{,}15134290 - x.0{,}15167121 - y.0{,}02300416$$
$$0{,}31101623 - x.0{,}31141614 - y.0{,}09698004$$
$$0{,}11859690 - x.0{,}11884146 - y.0{,}01412329$$
$$0{,}00000020 - x.0{,}00000021 - y.0{,}00000000$$
$$0{,}05408270 - x.0{,}05421317 - y.0{,}00293907$$
$$0{,}12663412 - x.0{,}12689703 - y.0{,}01610287$$
$$0{,}31004399 - x.0{,}31042450 - y.0{,}09636336$$
$$0{,}61411433 - x.0{,}61397729 - y.0{,}37696817$$
$$\overline{0{,}25029072 - x.0{,}25046814 - y.0{,}10530212 = 0}$$

Hieraus ergiebt sich $x = 0{,}99723181$ und $y = 0{,}00489947$, also $\frac{y}{x} = 0{,}00491307$; die Abplattung aber

$$e = \frac{5}{2}k = \frac{y}{x} = 0{,}00865052 - 0{,}00491307$$
$$= 0{,}00373745 = \frac{1}{276{,}6}\ .$$

Werden die Beobachtungen zu *Guam* weggelassen, so geben die übrigen $\frac{1}{272{,}1}$ und wenn die von *Guam*, *Ile de France* und *Mowi* ausgelassen werden, $= \frac{1}{286{,}2}$.

Diese unerwartet grofse Abplattung mufste um so mehr auffallen, weil die gleich nachfolgenden Beobachtungen von Sabine damals noch unbekannt waren, als die Französischen Gelehrten die angegebenen Werthe durch ihre scharfen Berechnungen erhielten, und zugleich die aus den Mondsgleichungen gefundene Abplattung von $\frac{1}{305}$ als absolut richtig betrachteten. Freycinet zieht daher aus seinen Messungen folgende allgemeine Schlüsse[1]:

1 a. a. O. p. 45.

1. Die Abplattung der südlichen Halbkugel unterscheidet sich nicht merklich von der der nördlichen.

2. Beide sind grösser als $\frac{1}{305}$, welche Excentricität aus den Ungleichheiten des Mondes gefunden ist.

3. Die Berechnungen der Pendelschwingungen einzeln für die südliche und die nördliche Halbkugel geben die Abplattung $=\frac{1}{280}$ und $\frac{1}{282}$.

4. Die Parallele haben keine regelmäfsige Krümmung, und die Erde kann daher nicht als ein regelmäfsiges ellipsoidisches Sphäroid (solide de révolution) angesehen werden, wie dieses auch schon aus früheren Beobachtungen in der alten und neuen Welt hervorgeht.

5. Die Versuche zu *Ile de France*, *Guam* und *Mowi*, verglichen mit denen zu *Paris* geben eine gröfsere Differenz der Pendelschwingungen, als mit der Theorie verträglich ist, und man mufs daher eine bedeutende Ungleichheit der Erdgestalt an diesen drei Orten annehmen.

6. Wenn man diese drei Versuchsreihen wegläfst, welche dem Einflusse örtlicher Bedingungen zu sehr unterliegen, so wird die mittlere Abplattung des Erdballes $=\frac{1}{286{,}2}$ gefunden, bei welchem endlichen Resultate der Versuche man vor der Hand stehen bleiben mufs, bis die vorliegende Frage durch fortgesetzte Versuche weitere Aufklärung erhält.

Inzwischen stimmt dieses Endresultat mit dem durch Sabine gefundenen so nahe überein, als nach der Natur der Beobachtungen erwartet werden kann, und die folgenden Untersuchungen werden überhaupt darthun, welche von den hier angegebenen Folgerungen richtig sind.

e) Bei weitem die umfassendste, wichtigste und zu den entscheidendsten Resultaten führende Reihe von Beobachtungen des einfachen Secundenpendels, welche einen Bogen von 13° S. B. bis 80° N. B. in sich begreift, verdankt die gelehrte Welt dem wissenschaftlichen Eifer und den hochherzigen Aufopferungen *Englands*. Obgleich weniger mühsam und kostspielig, als die Reisen zur Entdeckung einer nordwestlichen Durchfahrt, ist diese Expedition des Capt. Sabine nicht weniger fruchtbar für die mathematische Geographie gewesen. Von einem

so geübten Beobachter liefsen sich keine andere, als sehr genaue Resultate erwarten, und dieses hat der Erfolg auch völlig gerechtfertigt, wobei hauptsächlich noch *der* Vortheil in Anschlag zu bringen ist, dafs im Winter zwischen 1822 und 1823, desgleichen im Anfange des Jahres 1824 die gebrauchten Pendel in London nicht blofs mit dem Normalpendel verglichen wurden, sondern auch genau in denjenigen künstlich hergestellten Temperaturen oscillirten, denen sie an den verschiedenen Beobachtungsorten ausgesetzt gewesen waren, um hiernach den Einflufs der Ausdehnung durch die Wärme empirisch zu corrigiren. Die Resultate seiner Messungen, gleichfalls nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, zeigt folgende Zusammenstellung:

Beob. Ort.	Breiten	Beob. Pendellängen.	x	y Sin. $^2 \varphi$	Diff.
St. Thomas	00° 24′ 41″	39,02074	— x	— 0,0000515 y	= D^1
Maranham	02 31 43 s	39,01214	— x	— 0,0019464 y	= D^2
Ascension	07 55 48 s	39,02410	— x	— 0,0190338 y	= D^3
Sierra Leone	08 29 28	39,01997	— x	— 0,0218023 y	= D^4
Trinidad	10 38 56	39,01884	— x	— 0,0341473 y	= D^5
Bahia	12 59 21 s	39,02425	— x	— 0,0505201 y	= D^6
Jamaica	17 56 07	39,03510	— x	— 0,0948286 y	= D^7
Neu-York	40 42 43	39,10168	— x	— 0,4254385 y	= D^8
London	51 31 08	39,13929	— x	— 0,6127966 y	= D^9
Drontheim	63 25 54	39,17456	— x	— 0,7999544 y	= D^{10}
Hammerfest	70 40 05	39,19519	— x	— 0,8904120 y	= D^{11}
Grönland	74 32 19	39,20335	— x	— 0,9289304 y	= D^{12}
Spitzbergen	79 49 58	39,21469	— x	— 0,9688402 y	= D^{13}
		39,09107	— x	— 0,3729771 . y = 0	

Wird aus dieser ersten Reihe der Bedingungsgleichungen die zweite gebildet, so erhält man:

$$
\begin{array}{l}
-\ 0,002012 + x\,0,0000515 + y\,0,0000000 \\
-\ 0,075934 + x\,0,0019464 + y\,0,0000038 \\
-\ 0,742778 + x\,0,0190338 + y\,0,0003623 \\
-\ 0,850725 + x\,0,0218023 + y\,0,0004753 \\
-\ 1,332390 + x\,0,0341473 + y\,0,0011660 \\
-\ 1,971510 + x\,0,0505201 + y\,0,0025523 \\
-\ 3,701643 + x\,0,0948286 + y\,0,0089924 \\
-16,635365 + x\,0,4254385 + y\,0,1809980 \\
-23,984428 + x\,0,6127966 + y\,0,3755200 \\
-31,337865 + x\,0,7999544 + y\,0,6399270 \\
-34,899873 + x\,0,8904120 + y\,0,7928336 \\
-36,417184 + x\,0,9289304 + y\,0,8629118 \\
-37,992760 + x\,0,9688402 + y\,0,9386515 \\
\hline
-14,611113 + x\,0,3729771 + y.\,0,2926457 = 0
\end{array}
$$

Hieraus ergiebt sich $x=39,01568$ und $y=0,20213$, woraus nach dem von Kater angenommenen Werthe von k die Abplattung $=\frac{1}{288,4}$ ist.

Sabine nimmt zu dieser Reihe von beobachteten Pendelschwingungen noch die beiden unter a und b mitgetheilten hinzu, um auf diese Weise aus allen, nach der nämlichen Methode berechneten Pendellängen ein möglichst genaues Resultat zu erhalten. Wären seine eigenen Beobachtungen ungenau, so müfste durch die hinzukommende bedeutende Zahl ein merklich abweichendes Resultat zum Vorschein kommen, welches aber nicht der Fall ist. Zuvor unterwirft er die durch Capt. Kater angestellten Messungen einer abermaligen Revision, und erhält dadurch verbesserte Gröfsen der gefundenen Pendellängen. Wenn nun dieses zwar mit der von Kater behaupteten Genauigkeit seiner Angaben auf den ersten Blick nicht übereinzustimmen scheint, so steigt das Vertrauen auf diese Messungen vielmehr bei näherer Prüfung, indem die gemachten Abänderungen nur einmal eine Einheit in der dritten Decimalstelle betragen, übrigens sämmtlich die vierte Decimalstelle treffen, und viermal positiv, zweimal dagegen negativ sind. Die Berechnung dieser sämmtlichen Beobachtungen von Sabine und Kater ausführlich mitzutheilen scheint mir überflüssig, da die dabei zum Grunde liegenden Gröfsen in der nächstfolgenden allgemeinen Uebersicht enthalten sind, aus welcher sie daher entnommen und zur Berechnung nach der mitgetheilten Methode benutzt werden können. Die daraus gefundene Abplattung beträgt indefs $\frac{1}{289,5}$, und weicht somit nur unbedeutend von derjenigen ab, welche aus Sabine's Messungen allein folgt. Damit aber dieses Resultat ein noch gröfseres Gewicht erhalte, werden auch die französischen Messungen auf ein sexagesimal-Secundenpendel reducirt, und mit der durch Sabine erhaltenen Reihe zusammengenommen, und hieraus folgt abermals die Abplattung sehr übereinstimmend mit beiden früheren Resultaten $=\frac{1}{288,7}$. Einen auffallenden Beweis der genauen Uebereinstimmung dieser aus drei Reihen von 13, dann 19 dann 21 verglichenen Beobachtungen erhaltenen Resultate unter sich und mit den einzelnen Bestimmungen giebt die folgende Zusammenstellung, worin

die Werthe von x und y aus den sämmtlichen Beobachtungen gefunden, und hiernach die Gröfsen in der fünften Columne berechnet sind. Der Inhalt der übrigen Columnen ist für sich klar.

Oerter.	Breiten	Beob. Pendel. =39, +	Beobachter.	Berech. Pendel. =39, +	Diff.
St. Thomas	00° 24′ 41″	02074	Sabine	01520	+00554
Maranham	02 31 43	01214	—	01559	—00345
Ascension	07 55 48	02410	—	01905	+00505
Sierra Leone	08 29 28	01997	—	01961	+00036
Trinidad	10 38 56	01884	—	02211	—00327
Bahia	12 59 21	02425	—	02543	—00118
Jamaica	17 56 07	03510	—	03440	+00070
Formentera	38 39 56	09176	Biot	09422	—00246
New-York	40 42 43	10168	Sabine	10133	+00035
Figeac	44 36 45	11212	Biot	11506	—00294
Bordeaux	44 50 26	11295	—	11586	—00291
Clermont	45 46 48	11612	—	11918	—00306
Paris	48 50 14	12894	—	12994	—00100
Shanklin	50 37 24	13606	Kater	13617	—00011
Dünkirchen	51 02 10	13771	Biot	13760	+00011
London	51 31 08	13929	Kater	13926	+00003
Arbury H.	52 12 55	14223	—	14165	+00058
Clifton	53 27 43	14593	—	14590	+00003
Leith	55 58 39	15547	—	15427	+00120
Portsoy	57 40 59	16161	—	15979	+00182
Unst	60 45 26,5	17164	—	16934	+00230
Drontheim	63 25 54	17456	Sabine	17715	—00259
Hammerfest	70 04 05	19519	—	19546	—00027
Grönland	74 32 19	20335	—	20326	+00009
Spitzbergen	79 49 58	21469	—	21134	+00335

Die Pendellängen von *Leith* und *Unst* sind das arithmetische Mittel aus den Messungen von Kater und Biot, welche nur unbedeutend abweichen. Für jenen Ort nämlich erhielt Biot 39,15538 und Kater 39,15556 Zolle, für diesen Biot 37,17177 und Kater 39,17151 Z. so dafs also dort die Differenz negativ, hier positiv ist, welches gegen die

Voraussetzung eines constanten Fehlers bei beiden Reihen von Beobachtungen streitet. Die hiernach aus allen Messungen gefundene Pendellänge unter dem Aequator im englischen Maſse, ist $x = 39{,}01520$ und die Zunahme desselben am Pole, oder $y = 0{,}20245$, welches eine Abplattung von $\frac{1}{289{,}1}$ giebt.

Es muſs etwas auffallen, daſs Sabine die oben unter c erwähnten Pendelmessungen, desgleichen einige einzelne, welche gleichfalls mit Kater's unveränderlichem Pendel angestellt sind, nicht gleichfalls mit in Rechnung genommen oder wenigstens verglichen hat. Um diesen Mangel zum Theil zu ersetzen, füge ich die mir bekannt gewordenen hier hinzu, wobei es mir indeſs überflüssig und selbst nicht einmal zweckmäſsig scheint, sie den bisher mitgetheilten anzureihen und die ganze Summe aufs Neue nach der angegebenen Methode in Rechnung zu nehmen. Sollte dieses ohne nachtheiligen Einfluſs auf die Richtigkeit des zu erhaltenden Resultates geschehen, so müſsten auf allen Fall die Originalbeobachtungen mit mehrerem Rechte, als bei den von Kater angestellten geschehen ist, einer neuen Revision unterworfen werden, um die Fehlergrenze bei denselben, und hiernach ihren Werth zur Bestimmung der fraglichen Gröſse genau zu kennen, welches nicht bloſs sehr mühsam seyn würde, sondern wozu mir selbst die erforderlichen Mittel fehlen. Deswegen nehme ich sie so, wie sie in den angegebenen Quellen mitgetheilt sind, und vergleiche sie mit derjenigen Gröſse, welche das Pendel nach der zuletzt von Sabine gebrauchten Formel, nämlich $x' = x\,(1 + y\ \mathrm{Sin.}^2\,\varphi)$ haben müſste. Die einzelnen Beobachtungen, auſser denen unter c mitgetheilten, sind folgende.

f) Versuche mit Kater's unveränderlichem Pendel durch Capt. Basil Hall auf den *Gallopagos-Inseln* unter 0° 32′ 19″ N. B. und 90° 30′ W. L. von Greenwich angestellt gaben die Länge des Secundenpendels daselbst = 39,01717 engl. Z. Die Vergleichung dieser Messung mit den sieben von Kater angestellten giebt die Länge des Secundenpendels unter dem Aequator = 39,017196 Z., die Zunahme der Schwere am Pole = 0,0051412 und die Abplattung = $\frac{1}{284{,}98}$.

g) Ebenderselbe maſs die Länge des Secundenpendels zu *San Blas* in *Mexico* unter 21° 32′ 24″ N. B. und 105° 15′ W. L. von Greenwich, und fand sie = 39,03776 e. Z. Die Vergleichung mit KATER's sieben Messungen in Groſsbritannien gab die Länge des Pendels anter dem Aequator = 39,00904 die Zunahme der Schwere = 0,0054611 und die Abplattung = $\frac{1}{313,55}$.

h) FOSTER stellte an eben diesem Orte eine Reihe von Beobachtungen an, und fand die Länge des einfachen Secundenpendels daselbst = 39,03881 e. Z., welches Resultat von dem vorigen doch stärker abweicht, als bei absoluter Genauigkeit der Fall seyn müſste. Eine auf gleiche Weise als bei jener angestellte Vergleichung giebt die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator = 39,01036 e. Z. die Abnahme der Schwere von den Polen an = 0,0054095 und hiernach die Abplattung = $\frac{1}{308,56}$.

i) Auch zu *Rio de Janeiro* wurden durch HALL ähnliche Beobachtungen angestellt. Die Breite des Beobachtungsortes wurde = 22° 55′ 22″ S., die Länge 43° W. von Greenwich, und die Länge des Pendels = 39,04381 e. Z. gefunden. Eine Vergleichung mit den mehrerwähnten brittischen Messungen gab die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator = 39,01223, die Abnahme der Schwere vom Pole an = 0,0053365 und somit die Abplattung = $\frac{1}{301,77}$.

k) Der oben genannte FOSTER beobachtete an eben diesem Orte, fand sehr nahe übereinstimmend die Länge des Pendels = 39,04368 Z. Um aber an einem Beispiele zu zeigen, wie auſserordentlich genau KATER's mit den bisher erwähnten verglichene Messungen sind, und daſs sie mit gleich genauen, unter minderen Breiten ausgeführten allerdings ein richtiges Resultat zu geben sich eignen, möge folgende Zusammenstellung dienen. Die eben genannte Bestimmung FOSTER's mit den durch KATER gefundenen Gröſsen verglichen, giebt folgende Werthe.

Verglichener Beob. Ort.	Abnahme d. Schwere	Länge des Secund. Pend.	Nenner der Abplat.
Unst	0,0053726	39,01188	305,07
Portsoy	0,0053732	39,01188	305,13
Leith	0,0053570	39,01198	303,63
Clifton	0,0053109	39,01225	299,44
Arbury H.	0,0053565	39,01198	303,59
London	0,0053151	39,01223	299,81
Shanklin F.	0,0053163	39,01222	299,92
Mittel	0,0053431	39,01206	302,37

Diese Uebersicht zeigt, daſs die drei mittleren Werthe für die Abnahme der Schwere, die Länge des Secundenpendels unter dem Aequator und die Abplattung von den oben mitgetheilten Bestimmungen nicht sehr abweichen, und unter einander selbst noch geringere Differenzen zeigen[1].

l) Auch in *Paramatta* unter 33° 48′ 43″ S. B. und 151° 0′ 15″ O. L. von Greenwich, beobachtete Brisbane[2] ein Katersches Pendel, und veranlaſste auch Dunlop zu einer Reihe von Beobachtungen, beide um so wichtiger, je seltener damals noch solche Messungen auf der südlichen Halbkugel waren. Brisbane fand die Länge des Secundenpendels in *Paramatta* = 39,07696 e. Z. welches mit Kater's Messung in *London* verglichen die Abnahme der Schwere = 0,0052704 und die Abplattung $\frac{1}{295,84}$, mit der zu *Unst* aber jene 0,0053605, diese $\frac{1}{303,95}$ giebt. Dunlop fand die Länge des Secundenpendels wenig abweichend = 39,07751, und hiernach durch die Vergleichung mit *London* jene Gröſse = 0,0052238, diese = $\frac{1}{291,83}$; mit *Unst* jene = 0,0053292 diese = $\frac{1}{301,09}$.

m) Goldingham war einer der ersten, welcher ein regulirtes Kater'sches Pendel mit nach *Madras* nahm. Aus den Schwingungen desselben dort unter 13° 4′ 9″,1 N. B. berechnete er die corrigirte Länge = 39,026302, welche Gröſse mit

1 Diese fünf einzelnen Beobachtungen findet man erwähnt und berechnet in Phil. Trans. 1823. T. II. p. 211.

2 Phil. Tr. a. a. O. p. 315.

der von KATER für *London* gefundenen verglichen die Abplattung $= \frac{1}{297,56}$ giebt[1].

Da man diese sämmtlichen Beobachtungen nichts weniger als ungenau nennen kann, hauptsächlich aber weil sie unter verschiedenen südlichen und nördlichen Breiten und in sehr abweichenden Längen angestellt sind, so scheint es mir allerdings der Mühe werth, auch diese auf die nämliche Weise wie durch SABINE bei den oben mitgetheilten geschehen ist, nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen, und das Resultat mit dem oben erhaltenen zu vergleichen[2]. Dieses giebt folgende Uebersicht.

Gallopagos	00° 32′ 19″;	$39{,}01717 - x - 0{,}0000884 \cdot y = D^1$
Madras	13 04 09;	$39{,}02630 - x - 0{,}0511334 \cdot y = D^2$
San Blas	21 32 24;	$39{,}03828 - x - 0{,}1347996 \cdot y = D^3$
Rio de Jan.	22 55 22;	$39{,}04374 - x - 0{,}1517026 \cdot y = D^4$
Paramatta	33 48 43;	$39{,}07723 - x - 0{,}3096577 \cdot y = D^5$
Brassa	60 09 42;	$39{,}16929 - x - 0{,}7524400 \cdot y = D^6$
Hare Is.	70 26 17;	$39{,}19840 - x - 0{,}8878917 \cdot y = D^7$
Melville	74 47 12;	$39{,}20700 - x - 0{,}9311400 \cdot y = D^8.$

$$39{,}0971765 - x - 0{,}321885336 \cdot y = 0$$

$$\begin{array}{rlll}
- & 0{,}00345 & + x \cdot 0{,}0000884 & + y \cdot 0{,}0000000 \\
- & 1{,}99555 & + x \cdot 0{,}0511334 & + y \cdot 0{,}0026146 \\
- & 5{,}26234 & + x \cdot 0{,}1347996 & + y \cdot 0{,}0181709 \\
- & 5{,}92303 & + x \cdot 0{,}1517026 & + y \cdot 0{,}0230136 \\
- & 12{,}10056 & + x \cdot 0{,}3096577 & + y \cdot 0{,}0958850 \\
- & 29{,}47254 & + x \cdot 0{,}7524400 & + y \cdot 0{,}5661657 \\
- & 34{,}80393 & + x \cdot 0{,}8878917 & + y \cdot 0{,}7883516 \\
- & 36{,}50721 & + x \cdot 0{,}9311400 & + y \cdot 0{,}8670258
\end{array}$$

$$- 15{,}758576 + x \cdot 0{,}402356675 + y \cdot 0{,}2951534 = 0$$

1 Phil. Trans. 1822. I. 167.

2 Die Pendelmessung, wonach Capt. CHRIST die Länge des einfachen Secundenpendels auf der kleinen Insel *Gounsah-Lout* bei *Bencoolen* unter 0° 1′ 48″,78 N. B. = 39,02125994 engl. Z. fand, habe ich weggelassen, weil ihre Genauigkeit weniger verbürgt ist. S. Phil. Mag. LXV. 394. einen Auszug aus einer weitläuftigen Abhandlung im Asiatic Journal.

Hieraus ergiebt sich die Länge des Secundenpendels unter dem Aequator oder $x = 39{,}01393$, die Zunahme der Schwere nach dem Pole hin, oder $y = 0{,}2068915$, und die Abplattung oder $\frac{5}{2} k - \frac{y}{x} = 0{,}0086501 - 0{,}0053030 = 0{,}0033471$ oder $= \frac{1}{298{,}76}$. Gäben wir diesen Messungen einen gleichen Werth als den von SABINE berechneten, so würde aus jenen und diesen zusammengenommen eine Abplattung $= \frac{1}{291{,}24}$ folgen; sollen sie aber nur einen halb so grofsen Werth erhalten als jene, so würde eine Ellipticität $= \frac{1}{290{,}3}$ herauskommen, nimmt man endlich alle zuletzt erwähnten genaueren (unter d bis m aufgezählten) 45 Beobachtungen zusammen, giebt allen einen gleichen Werth, und sucht aus ihnen das arithmetische Mittel, so erhält man hiernach die Abplattung $= \frac{1}{288{,}96}$ oder sehr nahe $= \frac{1}{289}$. Auf allen Fall ergiebt sich so viel, dafs die durch SABINE und die durch die französischen Geometer in Frankreich angestellten Versuche am genauesten übereinstimmende Resultate geben, von welchem die zuletzt erwähnten, mit KATER's unveränderlichem Pendel angestellten, von SABINE aber nicht mit in Rechnung genommenen, Versuche nur unbedeutend abweichen. Noch deutlicher geht dieses aus der folgenden Zusammenstellung hervor, worin die durch Messung gefundenen Pendellängen mit denen verglichen sind, welche aus der Formel $x' = x + y \text{ Sin.}^2 \varphi$ folgen, für x und y die von SABINE gefundenen Werthe genommen[1].

---

1 Bei der vorhergehenden Berechnung ist für *San Blas* und *Rio de Janeiro* das arithmetische Mittel aus den Bestimmungen von HALL und FOSTER gesetzt, für *Paramatta* das arithmetische Mittel aus den durch BRISBANE und DUNLOP gefundenen Gröfsen.

Beob. Orte.	Beobachter	Breiten	beob. Pendel	berech. Pend.	Differ.
Gallopagos	Hall	00° 32′ 19″	39,01717	39,01522	+ 0,00195
Madras	Goldingham	13 04 09	39,02630	39,02555	+ 0,00075
San Blas	Hall	21 32 24	39,03776	39,04249	— 9,00473
— —	Foster	21 32 24	39,03881	39,04249	— 0,00368
Rio de Jan.	Hall	22 55 22	39,04381	39,04591	— 0,00210
— —	Foster	22 55 22	39,04368	39,04591	— 0,00223
Paramatta	Brisbane	33 48 43	39,07696	30,07788	— 0,00092
— —	Dunlop	33 48 43	39,07751	39,07788	— 0,00037
Brassa	Sabine	60 09 42	39,16929	39,16753	+ 0,00176
Hare Isl.	—	70 26 17	39,19840	39,19495	+ 0,00345
Melville	—	74 47 12	39,20700	39,20371	+ 0,00329

Werden zuerst die Pendelmessungen für sich allein als Mittel zur Bestimmung der Abplattung näher beleuchtet, so folgen aus den gegebenen Uebersichten und aus demjenigen, was Sabine in seinem schätzbaren Werke mitgetheilt hat, zunächst nachstehende Schlüsse.

1. Vor allen Dingen müssen viele und weit von einander abstehende Beobachtungen in Rechnung genommen werden, wenn man ein nahe richtiges Resultat erhalten will. Dieses ergiebt sich insbesondere aus der Gröfse der Abplattung, welche die über kürzere Bogen ausgedehnten einzelnen Beobachtungsreihen geben. Biot fand dierecte aus der Summe seiner Messungen diese Gröfse $= \frac{1}{304}$, allein wegen der Autorität, welche La Place's Angabe sich erworben hatte, suchte er jene dieser anzupassen, was auch keine grofsen Abweichungen gab. Die Reihe der durch Kater veranstalteten Messungen über einen weit kürzeren Bogen giebt allerdings sehr weit aus einander liegende Bestimmungen, deren mittlere im Maximo $\frac{1}{319,82}$ beträgt, und also nicht vermuthen läfst, dafs die ungleich richtigere Bestimmung so hoch hinaufgehen könnte, als wirklich der Fall ist. Die Ursache einer so geringen Uebereinstimmung liegt sehr nahe, und sie wird nicht befremden, wenn man berücksichtigt, dafs die ganze Differenz der Pendellänge am Pole

über die unter dem Aequator nur etwas über 0,2 engl. Zoll beträgt, weswegen unbedeutend kleine Fehler noch immer eine sehr grofse Differenz des Resultates herbeiführen können. Kater glaubte sich daher berechtigt, aus seinen Messungen den Schlufs zu folgern, dafs das erhaltene Resultat sich den bekannten anderweitigen Bestimmungen der Abplattung anreihen lasse[1], und es würden daher die mühvollen und kostbaren Bemühungen der französischen und englischen Gelehrten die Sache selbst um nichts mit Sicherheit weiter gebracht haben, wenn nicht Sabine's Messungen hinzugekommen wären.

2. Vor allen Dingen mufs bei den Beobachtungsarten für Pendelschwingungen die geognostische Beschaffenheit des Ortes genau beachtet, und entweder mit in Rechnung genommen werden, oder es müssen aus gleichen Breiten gleich viele Beobachtungen über schwererem und leichterem Boden zur Erhaltung eines genauen arithmetischen Mittels dienen[2]. Sabine hat hierüber die interessantesten Erfahrungen gemacht, und bemerkt, dafs die Erhebung über der Meeresfläche von geringerer Bedeutung ist, als die Beschaffenheit des Bodens, desgleichen dafs die tiefer liegenden Erdschichten keinen so grofsen Einflufs haben als die Oberfläche, oder genauer, dafs die allgemeine Beschaffenheit der Erdrinde die Pendelschwingungen weniger afficirt als die oberen und nebenliegenden Schichten[3]. Der Ein-

---

1 Kater sagt Phil. Tr. 1821. I. p. 94. It will perhaps be allowable to consider $\frac{1}{305,32}$ the mean of these last results, as the true compression, and this would agree very nearly with the deduction of Mr. La Place from the lunar irregularities; with the result of Dr. Young's interesting and novel investigation, by a comparison of the mean, with the superficial density of the earth; and with the coniecture I have hazarded from the compression given by the experiments on the length of the pendulum at Unst and Portsoy.

2 Vergl. La Place In Connaiss. des Temps. 1821. Auch Freycinet fand zu *Ile de France* eine sehr bedeutende örtliche Anziehung S. Connaiss. des Tems. 1818. p. 246.

3 a. a. O. p. 332... the local variations of gravity are influenced far more considerably by the density of the masses, on which the pendulum is immediately placed, than on the general disposition of the surface. Es ist mir hierbei besonders aufgefallen, dafs basaltischer und sonstiger vulcanischer Boden so stark anziehend wirkt, da man eine Compensation durch die muthmafslich tiefer liegenden

flufs ist so bedeutend, dafs SABINE meint, es lasse sich aus den Pendelschwingungen die Beschaffenheit der oberen Erdschichten an verschiedenen Orten bestimmen. Beides, sowohl die Gröfse solcher örtlichen Einflüsse, als auch dafs dieselben bei SABINE's Messungen ziemlich vollständig ausgeglichen sind, zeigt folgende Zusammenstellung:

Stationen	Unterschied d. berechneten u. gemessenen Pendellängen	Excefs oder Defect der Schwingungen	Geognostische Beschaffenheit des Bodens
St. Thomas	+ 0,00506	+ 5,58	Basaltischer Felsen.
Maranham	— 0,00393	— 4,34	Angeschwemmter Boden.
Ascension	+ 0,00457	+ 5,04	Dichter vulcanischer Felsen.
Sierra Leone	— 0,00012	— 0,12	Schnell verwitternder Granit.
Trinidad	— 0,00374	— 4,12	Angeschwemmter Boden.
Bahia	— 0,00164	— 1,80	Tiefes Erdreich auf Sandstein.
Jamaica	+ 0,00025	+ 0,28	Kalkfelsen.
Newyork	+ 0,00001	0,00	100 F. tiefes Sandlager über Serpentin.
London	— 0,00025	— 0,28	Kies und Kalk.
Drontheim	— 0,00282	— 3,10	Thonboden über Glimmerschiefer.
Hammerfest	— 0,00047	— 0,52	Glimmerschiefer.
Grönland	— 0,00009	— 0,08	Sandstein.
Spitzbergen	+ 0,00318	+ 3,50	Quarzfelsen.

Man sieht, dafs sich die leichteren und schwereren Lagerungen so ziemlich ausgleichen, und wenn die letzteren etwa mehr nach einer Seite hin fallen, so wäre dieses nach der südlichen, und ein hieraus entspringender Fehler müfste die Abplattung geringer geben, als sie wirklich ist. Auffallend ist dabei blofs, dafs das tiefe Sandlager in *Newyork* keinen negativen Fehler gegeben hat, da dieses doch beim Sandsteine in *Grönland* der Fall ist. Erklärlich würde dieses werden durch die Voraussetzung, dafs der Sandstein kalkhaltig, der Sand dagegen rein quarzig seyn mag. In der gegebenen Uebersicht stehen übrigens die basaltischen, die vulcanischen und die Quarzfelsen dem aufgeschwemmten Erdreiche im stärksten Gegensatze

---

Höhlungen erwarten könnte. Beobachtungen in verschiedenen Puncten auf Island wären in dieser Hinsicht von grofser Wichtigkeit.

entgegen, alle anderen weichen dagegen von einem mittleren Werthe der Dichtigkeiten nicht sehr ab, wie Sabine durch folgende Zusammenstellung anschaulich macht, welche aus den Pendelschwingungen gefolgert füglich als allgemeines Maſs der Dichtigkeiten in Beziehung auf die Kraft der Anziehung gelten kann.

Stationen	Exceſs oder Defect	Dichtigkeits-Scale	Geognostische Beschaffenheit
St. Thomas	+ 5,58	100	Schwerer Basalt.
Ascension	+ 5,04	94	Dichter vulcan. Felsen.
Spitzbergen	+ 3,50	79	Mächtiges Quarzlager.
Jamaica	+ 0,28	45	Kalkfelsen (Urkalk).
New-York	0,00	43	Sand auf Serpentin.
Grönland	— 0,08	43	Zerfallener Sandstein.
Sierra Leone	— 0,12	42	Einige Fuſs Erde über verwittertem Granit.
London	— 0,28	41	Kies und Kalk.
Hammerfest	— 0,52	37	Glimmerschiefer, die Halbinsel von tiefem Wasser umgeben.
Bahia	— 1,80	26	Einige Fuſs Dammerde über Sandstein.
Drontheim	— 3,10	12	Thonboden über Glimmerschiefer.
Trinidad	— 4,12	2	Aufgesch. Erdreich und Sand.
Maranham	— 4,34	1	Desgleichen.

3. Rücksichtlich auf die Gestalt der Erde ist durch die angegebenen Pendelbeobachtnngen so viel mit Gewiſsheit ausgemacht, daſs die südliche Halbkugel auf gleiche Weise als die nördliche gekrümmt seyn muſs, und somit ein aus La Caille's Messung auf dem *Cap der guten Hoffnung* gefolgerter, und bei vielen Hypothesen zum Grunde gelegter Satz, wonach des Gegentheil statt finden sollte genügend wiederlegt. Die fünf Messungen auf der südlichen Halbkugel, zu *Maranham*, *Ascension*, *Bahia*, *Rio de Janeiro*, und *Paramatta*, welche einen Bogen von 2°,5 bis 33°,75 umfassen, weichen so wenig von den unter fast gleichen nördlichen Breiten angestellten ab, daſs man dieses Mittel zur Bestimmung der Erdgestalt entweder ganz verwerfen, oder beide Halbkugeln für gleichgestaltet halten muſs. Eben dieses Resultat geht auch aus denjenigen Messungen hervor, welche Freycinet und Duperrey vorgenommen ha-

ben[1]. Minder nicht darf mit einem hohen Grade der Zuversicht behauptet werden, daſs die Krümmung der verschiedenen Meridiane gleichfalls von einander nicht merklich abweicht, und die Erde also ein regelmäſsiges elliptisches Sphäroid (Éllipsoide de révolution) ist. Wenn manche früher geneigt waren, diesen theoretisch wahrscheinlichen Satz zu bezweifeln, so geschah dieses in Folge der geringen Uebereinstimmung, welche die Resultate der verschiedenen Messungen darboten, indem Sabine[2] vollkommen Recht hat, wenn er solche Ungenauigkeiten nur für geeignet hält, die Sache zu verwirren.

4. So viel aber hierdurch gewonnen ist, so bleibt doch allezeit noch die Hauptfrage zu erörtern, nämlich welches erhältniſs der Erdaxe zum Durchmesser des Aequators aus den Pendelmessungen wirklich folge. Die Beantwortung derselben beruhet auf zwei Stücken, nämlich der *Genauigkeit der Messungen selbst*, und der *Zulässigkeit des Clairaut'schen Theorem's*. Vorläufig kann nicht unbemerkt bleiben, wie auch Sabine sagt, daſs diejenige Gröſse der Abplattung, um welche alle einzelnen Bestimmungen derselben sehr nahe liegen, genau mit dem Verhältniſs der Schwungkraft zur Schwere unter dem Aequator zusammenfällt, welches zuverlässig auf ein in der Zukunft wahrscheinlich noch aufzufindendes nothwendiges Naturgesetz deutet.

Die Genauigkeit der Beobachtungen zuvörderst scheint über jeden Zweifel erhaben, und das Zutrauen zu denselben gewinnt um so mehr, je sorgfältiger man das Einzelne prüft. Insbesondere gilt dieses Urtheil von derjenigen Reihe, welche wir dem

1 S. Ann. Ch. Ph. XVI. 397. XXX. 347. Connaiss. des Tems. 1828. p. 246. Freycinet Voyage autour du Monde cet. 1826. p. 45.

2 a. a. O. p. 354.: inexact experiments have tended but to perplex, and even to mislead. Es darf hier jedoch nicht unbemerkt bleiben, daſs auch Dr. Tiarks aus seinen chronometrischen Messungen, verglichen mit geodätischen auf eine Ungleichheit in der Krümmung der Erde geführt wurde, damit die Sache bei ihrem jetzigen Standpuncte künftig noch näher untersucht werde. S. Phil. Mag. 1824. Apr. p. 311. Freycinet's Pendelbeobachtungen und die oben erwähnten letzten Messungen von Längengraden in Frankreich und Italien führen auf ein gleiches Resultat. Indeſs bin ich im Ganzen geneigt, die Erscheinungen, woraus eine Unregelmäſsigkeit der Krümmung zu folgen scheint, theils Beobachtungsfehlern, theils localen Anziehungen beizumessen.

Fleiſse und der Beharrlichkeit des Capt. Sabine verdanken, und wenn man die Uebereinstimmung der erhaltenen Resultate mit denjenigen berücksichtigt, welche aus allen übrigen, von den verschiedensten Beobachtern mit ähnlichen oder ungleichen Apparaten angestellten Versuchen hervorgegangen sind, so muſs man gestehen, daſs nicht leicht ein physikalisches Problem vollständiger gelöset ist, als dieses. Es ist mir auch nicht bekannt, daſs von dieser Seite überall gegründete Einwendungen gemacht sind, auſser etwa diejenigen, welche Galbraith dagegen vorgebracht hat[1]. Dieser macht vorzüglich auf die Ungewiſsheit aufmerksam, welche aus der örtlichen Anziehung des Bodens von individueller Beschaffenheit entstehen könnte. Richtig ist allerdings, daſs bei einer einzelnen Beobachtung dieser Einfluſs nichts weniger als unbedeutend genannt werden darf. Es ergiebt sich dieses insbesondere aus der Betrachtung der fünf ersten, zunächst am Aequator gemessenen Pendellängen zu *St. Thomas*, *Maranham*, *Ascension*, *Sierra Leone* und *Trinidad*. Wollte man die erste mit der zweiten, die dritte mit der vierten, die vierte mit der fünften, sogar noch die erste mit der fünften zusammennehmen, so würde aus allen diesen Vergleichungen eine umgekehrte Abplattung folgen, und wir haben hier also das nämliche Phänomen, welches die englische Gradmessung für sich allein genommen darbietet. Galbraith hat ferner vollkommen Recht, wenn er sagt, daſs man die Pendellänge unter dem Aequator nach den Beobachtungen im Mittel = 39,02 engl. Z. annehmen könne[2], und wenn dann die

---

1 Phil. Mag. LXVII. 161. Ivory prüft in Phil. Mag. and Journ. LXVIII. 1 ff. zuerst Clairaut's Theorem, indem er auch die höheren Potenzen mit in Rechnung nimmt, findet aber das von jenem gefundene Resultat bestätigt. Aus 6 Beobachtungen Sabine's und den beiden zu Paris und Unst durch Biot angestellten findet er dann die Abplattung $= \frac{1}{300}$. In einem späteren Aufsatze ebend. p. 92, vergleicht er die Messungen von Sabine, Kater nebst Biot und die in Frankreich von den französischen Gelehrten angestellten, und findet zwischen den aus diesen drei Reihen erhaltenen Abplattungen einen merklichen Unterschied. Weil er aber Sabine's Werk nicht selbst benutzt zu haben gesteht, so schien es mir überflüssig, mehr als diese Notiz von seiner Arbeit mitzutheilen.

2 Hall's Messung, welche Galbraith hierbei nicht berücksichtigt zu haben scheint, giebt weit richtiger 39,017

Zunahme der Länge des Secundenpendels unter dem Pole = 0,20 engl. Zoll angenommen würde, so gäbe dieses

$$e = 0{,}00865 - 0{,}005125 = 0{,}003525 = \frac{1}{283{,}7}.$$

Genau genommen kann dieser Einwurf aber das Vertrauen auf die erhaltenen Resultate nicht schwächen, und dient vielmehr als ein neuer Grund der Bekräftigung. Man muſs es nämlich wohlnehmen, daſs SABINE die ersten, aller Theorie und dem Ganzen der gesammten Beobachtungen widersprechenden Resultate offen mitgetheilt hat. Die Ursache der Fehler liegt ganz entschieden in der stärkeren Anziehung des vulcanischen Bodens zu St. *Thomas* und *Ascension*, wird indeſs durch die entgegengesetzte Wirkung des leichten Erdreichs zu *Maranham* und *Trinidad*, desgleichen durch die correspondirende anziehende Wirkung des Quarzfelsens auf *Spitzbergen* wieder aufgehoben. Bliebe noch ein Theil des Fehlers zurück, so würde er die Abplattung geringer geben, allein dieses ist aus andern Gründen nicht wahrscheinlich, und es läſst sich daher annehmen, daſs die übrigen Messungen in mittleren Breiten diesen Rest wieder aufheben.

Ungleich schwieriger ist die Entscheidung über die zweite Bedingung der Zuverlässigkeit des erhaltenen Resultates, nämlich die Richtigkeit der Formel, wonach aus den Beobachtungen die Abplattung gefunden ist. Es kommt hierbei lediglich auf die absolute Begründung des von CLAIRAUT aufgestellten Theorem's an. Dieses wird unten noch näher zur Untersuchung kommen, indeſs kann hier vorläufig so viel gesagt werden, daſs nach dem Urtheile der gröſsten Geometer dasselbe als unzweifelhaft betrachtet wird, und unter dieser Voraussetzung darf SABINE's Versuchsreihe sowohl, als auch die Ableitung des Endresultates aus dieser und den beiden anderen, von ihm benutzten, für so vollkommen gelten, daſs hierdurch eine lange untersuchte Aufgabe endlich bis zu einem hohen Grade der Gewiſsheit gelöset ist. Künftige Versuche werden das erhaltene Resultat controliren, zu welchem Ende ihnen aber ein gleicher Grad der Genauigkeit, als der hier benutzte, eigen seyn muſs[1].

---

1 Wenn man von den Messungen FREYCINET's die genauesten unter den niedrigsten und höchsten Breiten mit einander vergleicht, nämlich *Rawak* unter 0° 1′ 34″ S. B. mit *Paris* unter 48° 50′ 14″

Die hierdurch erhaltene Bestimmung ist zu neu, als dafs sie schon von andern beurtheilt und Einwendungen unterworfen seyn sollte. Um so mehr erwähne ich dasjenige, was Galbraith auch gegen diese erinnert, weil es auf den ersten Blick bedeutend scheint, bei näherer Betrachtung aber nicht ist. Schon früher[1] berechnete dieser aus den vier Beobachtungen zu *Gallopagos*, *Madras*, *San Blas*, und *Rio de Janeiro*, ferner aus den Französischen, den Englischen durch Kater angestellten, und den zu *Hare Island* und *Melville* auf der Nordpolarexpedition erhaltenen, zusammen also aus 18 Beobachtungen die Abplattung, fand nach der oben gewählten Bezeichnung die Länge des Secundenpendels unter dem Aequator oder $x = 39{,}011654$ und die Vermehrung derselben am Pole oder $y = = 0{,}209068$, woraus also die Ellipticität $= 0{,}0032784 = \frac{1}{305}$ folgt. Eine Zusammenstellung der gemessenen Pendellängen mit denen nach der Formel berechneten gab dann ferner für die niedrigen und hohen Breiten lauter negative Differenzen und für alle zwischenliegenden blofs positive, woraus Galbraith folgert, die Erde bilde kein vollkommenes Ellipsoid von $\frac{1}{305}$ Abplattung, sondern sey unter dem 45sten Grade der Breite etwas erhabener. Die wahre Ursache ist indefs, dafs aus den gemessenen Pendellängen eine gröfsere Abplattung folgt, als welche bei der Berechnung zum Grunde liegt[2]. Spä-

N. B. und mit dem *Cap* unter 33° 55′ 15″ S. B. so giebt jenes die Abplattung $= \frac{1}{288}$, dieses $= \frac{1}{291{,}3}$, im Mittel $\frac{1}{289{,}5}$; alle Beobachtungen mit allen 4 Pendeln geben sie im Mittel $= \frac{1}{289{,}56}$. Wollte man indefs auch bei dem durch Freycinet aus allen Beobachtungen mit den drei messingnen Pendeln erhaltenen mittleren Werthe $= \frac{1}{286{,}2}$ stehen bleiben, so ist doch auf allen Fall eine sehr genaue Uebereinstimmung dieser Gröfsen mit der durch Sabine gefundenen auf keine Weise zu verkennen.

1 Phil. Mag. LXIV. 163. LXV. 12 ff.

2 Ich darf hierbei nicht unbemerkt lassen, dafs bei der oben von mir mitgetheilten Zusammenstellung der von Sabine nicht mit in Rechnung genommenen Messungen gerade das Gegentheil statt findet, indem alle negativen Differenzen in die Mitte fallen. Auch hierron

ter[1] benutzt Galbraith verschiedene der neuesten, nahe am Aequator und nicht bis zur Hälfte des Erdquadranten reichende Pendelmessungen, um aus diesen die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem Aequator nach Sabine's Formel, wonach $x' = 39{,}01520 + 0{,}20245 \text{ Sin.}^2 \varphi$ ist, zu finden, und hiernach die Abplattung zu berechnen. Indem er dann die Beobachtungen zu *St. Thomas* und *Ascension* wegen des örtlichen Einflusses verwirft, erhält er für

Maranham — —	39,01175
Sierra Leone — —	39,01556
Trinidad — — —	39,01193
Bahia — — —	39,01402
Mittel	39,01332

Aus den spanischen Beobachtungen zu

Acapulco — —	39,01126
Manilla — —	39,02067
Umatag — —	39,00157
Zamboanga — —	39,01379
Lima — — —	39,01046
Ile Rabao — —	39,01370
Mittel	39,01191

Aus französischen und englischen zu

Formentera — —	39,01303
Madras — — —	39,01275
San Blas — —	39,01311
Rio Janeiro — —	39,01447
Paramatta — —	39,01250
Mittel[2]	39,01254

---

liegt die Ursache darin, daſs eine gröſsere Excentricität bei der Berechnung zum Grunde gelegt ist, als welche aus den Messungen selbst folgt. Zugleich muſs ich hinzusetzen, daſs die aus den Messungen auf *Gallopagos*, *Madras*, *San Blas* und *Rio de Janeiro* gefundenen Pendellängen durch Galbraith anders angegeben werden, als von mir oben geschehen ist, wodurch das Resultat etwas verschieden ausfällt. Indeſs bin ich der nachgewiesenen Quelle gefolgt, und weiſs nicht, woher Galbraith seine etwas abweichenden Gröſsen genommen haben mag.

1 Phil. Mag. LXVII. 164.

2 Dieses letztere Mittel ist falsch, läſst sich indeſs durch die

Aus allen drei mittleren Werthen folgt $x = 39{,}01295$, und indem GALBRAITH dann $\frac{5}{2} k = 0{,}008608$ nimmt, so soll statt des durch SABINE gefundenen, oben mitgetheilten Resultates, wonach die Abplattung $= \frac{1}{289{,}1}$ ist, sie vielmehr $e = 0{,}008608 - \frac{0{,}20245}{39{,}0152} = 0{,}003419 = \frac{1}{292{,}5}$ seyn. Aus andern Zusammenstellungen der durch SABINE gefundenen Pendellängen sucht dann GALBRAITH eine Abplattung herauszubringen, welche von $\frac{1}{305}$ nicht merklich abweicht. Rücksichtlich dieser letzteren Folgerung ist es nicht schwer zu beweisen, daſs einzelne zusammengestellte Pendelbestimmungen der Abplattung geringer geben, da auch andere wiederum sie gröſser darstellen; aber eben deswegen war es zweckmäſsig, die Fehler aller einzelner, übrigens genauer, Beobachtungen gegenseitig auszugleichen. In Beziehung auf die erstere Verbesserung ist indeſs nicht abzusehen, worauf sie sich im Allgemeinen gründet, und wie sie insbesondere aus den Prämissen folgt. Zuvörderst hat GALBRAITH die Gröſse $\frac{5}{2}$ k durch weitläuftige Rechnungen auf einem mühsameren Wege gesucht, als dieses nach NEWTON geschieht, und $k = \frac{1}{290{,}428}$ gefunden. Wird statt dessen die gewöhnliche Bestimmung wieder hergestellt, so muſs auch das zuletzt durch SABINE gefundene Resultat wieder herauskommen, so lange die durch denselben gefundenen Werthe von x und y unverändert bleiben. Daſs die letztere geändert werden müsse, sagt GALBRAITH nicht, für x aber findet er aus der mitgetheilten Zusammenstellung 39,01295 engl. Zolle. Wird dieses als richtig angenommen, so wäre

$$e = 0{,}0086501 - \frac{0{,}20245}{39{,}01295} = 0{,}0034518 = \frac{1}{289{,}7}$$

also nur unbedeutend von SABINE's Bestimmung abweichend. Es ist indeſs klar, daſs aus einer Verminderung des Werthes von x zugleich auch eine Vergröſserung des Werthes von y aus

---

Aenderung einer einzigen Ziffer in den summirten Gröſsen nicht herstellen, und ich muſs es also unverbessert wiedergeben.

den Beobachtungen folgen mufs. Nach SABINE ist die Länge des Secundenpendels unter dem Pole $= x + y = 39,21765$ engl. Zolle. Nimmt man zur Vermeidung weitläuftiger Rechnungen diese Gröfse und die durch GELBRAITH gefundene Pendellänge unter dem Aequator als richtig an (welches genau genommen aus begreiflichen Gründen unstatthaft ist), so würde hiernach $y = 0,2047$ und die Abplattung

$$e = 0,0086501 - \frac{0,2047}{39,01259} = 0,0034033 = \frac{1}{293,83}$$

seyn; also schon merklicher abweichen. Hieraus könnte allerdings ein von GALBRAITH nicht aufgestelltes Argument gegen die Gültigkeit dieser Berechnungsart überhaupt hergenommen werden, dessen Widerlegung keineswegs so leicht ist, als die Beseitigung derjenigen Einwürfe, welche er dagegen vorbringt. Die ganze Berechnung ist nämlich auf kein allgemein gültiges geometrisches Princip gestützt. Offenbar mufs die Abplattung so viel gröfser seyn, je gröfser der Unterschied der Pendellänge unter dem Pole und unter dem Aequator ist, indem sie selbst mit diesem verschwinden würde. Nach der Formel aber wächst der Quotient $y : x$ diesem Unterschiede proportional, die Abplattung wird dann aber im gleichen Verhältnifs kleiner, also gerade umgekehrt, als es der Natur der Sache nach seyn sollte. Im Allgemeinen führt dieses indefs wiederum auf die Gültigkeit von CLAIRAUT's Theoreme, und GALBRAITH's Gegenbemerkungen und Zweifel sind also bei weitem unbedeutender, als er sie gern ansehen möchte.

5. Endlich kann eine sehr nahe liegende Bemerkung demjenigen nicht entgehen, welcher sich mit der Untersuchung dieses interessanten Gegenstandes beschäftigt. Angenommen nämlich die Abplattung sey durch SABINE genau gefunden, so ist sie gerade dem Verhältnisse der Schwungkraft unter dem Aequator zur Schwere gleich oder $= k$. Nach der Formel ist aber $e = \frac{5}{2} k - \frac{y}{x}$, also wenn $e = k$ ist, so ist $1,5\,k = \frac{y}{x}$, und wenn also das Pendel durch die Schwungkraft und die aus der Abplattung der Erde hervorgehende Abnahme der Schwere zugleich afficirt wird, so ist die letztere Gröfse genau der Hälfte der ersteren gleich. Es scheint mir dieses auf eine gewisse innere Consequenz des Theorem's von CLAIRAUT zu deuten, und

nicht minder das Vertrauen auf die Genauigkeit der Pendelmessungen zu erhöhen [1].

D. Gestalt der Erde nach dem Gravitationsgesetze und der Schwungkraft.

Bei der Erläuterung der beiden unter A und C abgehandelten Methoden, deren man sich zur Bestimmung der Gestalt der Erde bedient hat, ist der Gegenstand sowohl rücksichtlich der Messungen als auch der Berechnungen in hinlänglicher Vollständigkeit mitgetheilt. Auch die hier zu erörternde Methode mit gleicher Ausführlichkeit abzuhandeln liegt aufser den Grenzen dieses Werkes, da sie zu der Lösung eines der schwierigsten Probleme gehört, womit die Geometer noch nicht völlig im Reinen sind, und es wird daher genügen, eine Uebersicht des Ganzen und die wichtigste Literatur hier aufzunehmen [2].

Newton, von welchem diese ganze Untersuchung ausgeht, dachte sich zur Versinnlichung der Sache zwei susammenhängende Säulen einer Flüssigkeit, welche im Centrum des fast kugelförmigen Körpers anfangend sich endigten, die eine unter dem Aequator, die andere unter dem Pole, und suchte bei dieser Voraussetzung einer gleichförmigen Dichtigkeit der als flüssig gedachten Erdmasse die Bedingung des Gleichgewichts. Denkt man sich dann ein elliptisches Sphäroid aus verschwindend dünnen und ähnlichen Lagen bestehend, so ist die Schwere, als die Summe der Anziehungen aller dieser Schichten, am Pole der kleinen Axe proportional. Newton stellte nämlich den Satz auf, dafs irgend ein materieller Punct in einem hohlen elliptischen Sphäroide mit parallelen Schichten von allen Seiten auf gleiche Weise angezogen werde, wonach die oberen Lagen auf die Schwere keinen Einflufs haben, und also in Folge des Gravitationsgesetzes die Schwere aller Puncte auf der Oberfläche

1 Die Uebereinstimmung dieses Resultates mit dem durch Huygens aufgestellten Theoreme ersieht man aus dem folgenden Abschnitte.

2 Vergl. La Place Méc. Cél. T. V. Liv. XI. Ch. 1. Ivory in Phil. Mag. LXVI. 428. Bohnenberger Astronomie p. 426. Die Schwierigkeit der Aufgabe ergiebt sich leicht, wenn man berücksichtigt, dafs nach der Theorie der Anziehung das Gesetz der Schwere an der Oberfläche der Erde von ihrer Gestalt abhängt, welche selbst wieder von jenem Gesetze abhängig ist.

gleichartiger und gleich dichter Körper den linearen Dimensionen dieser letzteren proportional ist. Hiernach ist das Gewicht der angenommenen Wassersäule am Pole gleich dem Producte der Schwere am Pole in die Hälfte der Länge dieser Säule oder in die halbe Axe, und die Schwere der an den Aequator reichenden Wassersäule dem Producte der Schwere unter dem Aequator in den halben Erdhalbmesser, indem die Schwere unter dem Aequator durch die gleichfalls nach dem Centro hin abnehmende Schwungkraft vermindert wird. Für den Zustand des Gleichgewichts ist daher das Product der Schwere unter dem Pole in die halbe Axe gleich der Schwere unter dem Aequator in den halben Durchmesser. Wird dann in einem elliptischen Sphäroide von gleichmäſsiger Dichtigkeit die halbe Axe BC = 100, der halbe Durchmesser AC = 101 angenommen, so würde die Schwere unter dem Aequator = 500 gesetzt, unter dem Pole = 501 werden. Wenn alsdann für den Zustand des Gleichgewichts nach hydrostatischen Gesetzen die Producte der Längen in die Gewichte gesucht und mit einander verglichen werden, so erhält man $BC = 100 \times 501 = 50100$ und für $AC = 101 \times 500 = 50500$, deren Verhältniſs 501 : 505 ist, wonach also unter A ein Ueberschuſs von $\frac{4}{505}$ entsteht, welcher durch die Schwungkraft compensirt werden muſs. Nach einer Art von regula falsi läſst sich hieraus vermittelst der bekannten Schwungkraft die Abplattung berechnen. Indem nämlich dem angenommenen Axenverhältnisse, oder einer Abplattung $= \frac{1}{100}$ eine Schwungkraft $= \frac{4}{505}$ zukommt, so erhält man die Proportionen

Fig. 171.

$$\frac{4}{505} : \frac{1}{100} = \frac{1}{289} : x$$

woraus $x = \frac{1}{229}$ gefunden wird. Dieses gäbe also das Verhältniſs der Axe des Erdellipsoids zum Durchmesser nahe = 229 : 230. Diese Bestimmung stellte Newton schon 1686 auf[1].

---

1 Phil. nat. Princ. math. L. III. prop. 19. Tom. III. p. 80 ed. Le Seur et Jacquier.

Ohngefähr zwei Jahre später bestimmte HUYGENS[1] die Abplattung nach ähnlichen Grundsätzen, indem er zwei Säulen einer gleichartigen Flüssigkeit annahm, welche durch die vereinten Wirkungen der Schwere und Schwungkraft im Gleichgewichte seyn sollten. Die Centrifugalkraft beträgt unter dem Aequator $\frac{1}{289}$ der Schwere $= k$, und um diese Gröfse mufs also die Schwere dort vermindert seyn. Diese Verminderung ist aber rücksichtlich auf den Druck der angenommenen Wassersäulen den Abständen der einzelnen Theilchen vom Centro direct proportional, mithin im Mittelpuncte selbst $= 0$ auf der Oberfläche unter dem Aequator $= 1$, im Mittel also $= \frac{1}{2} k$, weswegen die Länge der in der Erdaxe liegenden Säule BC $= 1 - \frac{1}{2} k$ $= 1 - \frac{1}{578}$ der andern AC seyn mufs, welches als ein Verhältnifs der Erdaxe zum Durchmesser $= 577 : 578$, und eine Abplattung $= \frac{1}{578}$ giebt. Nach HUYGENS[2] wächst ferner die Schwere vom Aequator nach den Polen den Quadraten der Sinusse der Breite proportional, und wird unter dem Pole $= 1 + 2k$, wenn sie unter dem Aequator $= 1$ ist, wogegen NEWTON das Verhältnifs $1 : 1 + \frac{5}{4} k$ annimmt. Dabei ist es merkwürdig, dafs nach beiden Theorieen die Summe der Gröfse der Abplattung und der Zunahme der Schwere am Pole, die unter dem Aequator als Einheit angenommen $= \frac{5}{2} k$ ist. HUYGENS wollte eigentlich die Aufgabe allgemein auflösen, und diejenige Curve

---

1 HUGENII opera ed. s'Gravesande. L. Bat. 1724. Tom. III. p. 99. Dessen opera reliqua T. I. de causa gravitatis. Discours de la cause de la Pésanteur p. 157. MAIRAN unterschied die ursprüngliche Gestalt der Erde als flüssig gedacht im Zustande der Ruhe, in welchem sie die Kugelgestalt haben mufste, von der späteren durch ihre Rotation enthaltenen. S. Mém. de l'Ac. 1720. Dafs sie als ruhend zur Erzeugung des Gleichgewichts ihrer Theile die runde Gestalt annehmen mufste, bewiesen aufserdem HERMANN s. Phoronomia L. II. prop. 82. p. 364; KRAFT in Com. Soc. Pet. VIII. 224. u. a.

2 La Place a. a. O. p. 5.

finden, welche dem Gleichgewichte eines um seine Axe rotirenden flüssigen Körpers genügt, allein diese war ihm zu schwierig, und wurde erst durch Mac-Laurin gelöset. Im Jahre 1740 gab nämlich die Akademie der Wissenschaften in Paris die Preisfrage über die Ebbe und Fluth auf, unter deren Beantwortungen sich die von Mac-Laurin als ein Muster der geometrischen Construction auszeichnet. Hierin zeigte er, dafs ein flüssiger, um seine Axe rotirender, Körper bei einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Anziehung seiner Theile nur dann zum Gleichgewichte kommt, wenn er die Gestalt eines elliptischen Sphäroids erhält[1].

Bei allen diesen drei angegebnen Versuchen befolgte man die Methode der geometrischen Construction, welche bei Mac-Laurin in höchster Eleganz erscheint. Auch Clairaut[2] betrat anfangs diesen Weg, und zeigte die Gültigkeit der Voraussetzungen, worauf Newton seinen Satz gegründet habe. Später wählte Clairaut[3] den Weg der Analyse, behandelte das Problem in gröfster Allgemeinheit für einen aus gleichartigen oder ungleichartigen Flüssigkeiten bestehenden Körper, und zeigte, dafs bei einer geringen Abweichung von der Kugelgestalt die Form eines an seinen Polen abgeplatteten elliptischen Sphäroids den Bedingungen des Gleichgewichts Genüge leiste. Bei der Vergleichung der Ellipticität der Erde und der Schwere an ihrer Oberfläche findet er dann das im vorigen Abschnitte benutzte merkwürdige Theorem, *dafs für jede Hypothese der Beschaffenheit des Inneren der Erde die Summe der Abplattung und der Vermehrung der Schwere vom Aequator zum Pole $\frac{5}{2}$ des Verhältnisses der Schwungkraft zur Schwere unter dem Aequator beträgt.*

Clairaut beschränkte seine Untersuchungen auf die elliptische Gestalt. Die späteren Geometer haben die Frage weiter

1 Phil. Nat. princ. ed. Le Seur et Jacquier. III. 247. Mc. Laurin Treatise of Fluctions ch. XIV. II. §. 686 ff. Vergl. Bohnenberger Astron. a. a. O.

2 Phil. Trans. 1737. T. XL. p. 19.

3 Théorie de la figure de la Terre, tirée des principes d' Hydrostatique. Par. 1743. 8. Gehaltvolle Untersuchungen über diesen Gegenstand enthält auch P. Frisii Disquisitio math. in causam physicam figurae et magnitudinis telluris nostrae. Mil. 1752. Timmerman's diss. de figura Terrae. Gandae 1822. 4.

ausgedehnt, nämlich ob auch andere Formen der Bedingung des Gleichgewichts Genüge leisten. D'Alembert[1] behandelte diesen Gegenstand zuerst 1754 und 56, ist aber in seiner Darstellung zu wenig klar und bestimmt. Sowohl umfassender als auch gründlicher sind die Untersuchungen von Le Gendre[2] und insbesondere La Place[3]. Beide vereinigen sich in dem Resultate, dafs die Gestalt eines elliptischen Sphäroids, durch Umschwung um die kleine Axe entstanden, den Bedingungen des Gleichgewichts allein Genüge leistet. Die Zeit der Rotation der Erde ist gegenwärtig eine bestimmte, und hat sich seit Hipparch's Zeiten nach La Place um keine mefsbare Gröfse geändert. Sie würde aber eine merkliche Veränderung erlitten haben, wenn sich ihre Temperatur um eine bedeutende Gröfse geändert hätte, weswegen bei der Bestimmung dieser Rotation und der dadurch erzeugten Schwungkraft, folglich auch der Abplattung, diese Bedingung in Betrachtung kommt. Nicht minder ist die Dichtigkeit der einzelnen Schichten des elliptischen Erdsphäroids gleichfalls zu berücksichtigen. Die Gröfse der Abplattung hängt dann vom Coefficienten der Dichtigkeit ab, und beträgt nach den Bestimmungen von Le Gendre $\frac{1}{306,6}$. Wenn man aber nach La Place sich die Erde aus Wasser bestehend denkt, und annimmt, dafs die Zunahme der Dichtigkeit der Stärke des Druckes der Länge der drückenden Säule proportional ist, den Coefficienten der Zusammendrückung des Wassers aber aus Canton's Versuchen nimmt (nach La Place = 0,000044 für 1 Atmosphäre), so beträgt die Abplattung $\frac{1}{359,54}$ und der Werth von $\frac{y}{x}$ nach der oben gewählten Bezeichnung 0,00587, welches mit den Beobachtungen nicht übereinstimmt[4].

Ganz zuletzt ist diese Frage mit Rücksicht auf die vorhergehenden Untersuchungen La Place's untersucht durch Ivory[5],

1 Opuscules math. Par. 1768.

2 Mém. de l'Acad. 1784 u. 1789. p. 372.

3 Mém. de l'Acad. 1783 u. 1785. Méc. Cél. T. II. Liv. III. ch. 3. T. V. L. XI. ch. 11. p. 22.

4 La Place Méc. Cel. V. 53.

5 Phil. Mag. LXVI. 321 ff. Vergl. Phil. Tr. 1824. p. 85. Poisson über diese Abhandlung in Ann. Chim. et Ph. XXX. 225.

welcher zugleich auf den Umstand aufmerksam macht, dafs die Pendelversuche SABINE's, welche mit Recht, als die umfassendsten und genauesten Versuche dieser Art anzusehen sind, und als das beste Mittel zur Bestimmung der Gestalt der Erde im Allgemeinen gelten müssen, die Abplattung $= \frac{1}{289}$, also genau so grofs als das Verhältnifs der Schwungkraft zur Schwere an der Erdoberfläche geben. Unter der Voraussetzung eines früheren flüssigen Zustandes der Erde folgt aus dem Verhältnisse der Abplattung zur Schwungkraft, dafs von der einen Seite weder eine gleichmäfsige Dichtigkeit vom Centro bis zur Oberfläche anzunehmen sey, weil sonst die Abplattung genau 1,25 der Schwungkraft betragen müfste, und von der andern Seite, dafs die Schwere nicht in einem einzelnen Puncte vereinigt seyn kann, weil sie sonst 0,5 ausmachen müfste[1]. Die Gröfse der Abplattung fällt zwischen diese beiden Werthe, und es läfst sich hieraus folgern, dafs die ursprünglich flüssige Erde aus Schichtungen von abnehmender Dichtigkeit vom Mittelpuncte an gerechnet bestehen kann. Zugleich beweiset die aus SABINE's Beobachtungen hervorgehende regelmäfsige Ungleichheit der Schwere auf der Erdoberfläche, dafs eine regelmäfsige Lagerung der Schichten von ungleicher Dichtigkeit beim flüssigen Zustande der Erde erfolgt sey, woraus dann wieder auf diesen ursprünglichen Zustand mit vielem Grunde geschlossen werden muls. Eine gröfsere Dichtigkeit der inneren Erdschichten folgt übrigens schon aus dem Drucke, welchem dieselben unterliegen[2]. Schon CLAIRAUT suchte die Abplattung mit dem Gesetze der abnehmenden Dichtigkeit als Folge des Druckes in Uebereinstimmung zu bringen, ohne zu einem genügenden Resultate zu gelangen. LEGENDRE[3] und ihm folgend LA PLACE[4] nehmen an, wie gezeigt ist, dafs die Vermehrung des Druckes dem Quadrate der dadurch erzeugten Dichtigkeit proportional ist,

---

1 Vergl. die oberen Bestimmungen von NEWTON und HUYGENS.

2 Vergl. Dan. Bernouille Traité sur le Flux et Reflux de la Mer. ch. IV. §. 12.

3 Mém. de l'Acad. 1789. p. 372. La Place a. a. O.

4 Eine ältere gehaltvolle Abhandlung, wie die Gestalt der Erde durch die verschiedenen Mittel bestimmt werden kann, von de la Place findet man in Mém. de l'Ac. 1783. p. 133 ff.

welches Gesetz nsch dem letzteren mit der Gestalt der Erde und ihrer mittleren Dichtigkeit übereinstimmen soll[1]. Ivory nimmt diese Bedingung in seinen Calcül auf, und findet dann die Abplattung mit Sabine's Messungen übereinstimmend $= \frac{1}{289}$. Wird dann die mittlere Dichtigkeit der Erde $= 5,48$ angenommen, so findet er die der äufseren Rinde $= 2,88$, welches ohngefähr die mittlere der Bestandtheile des Berges *Shehallien* ist. Aus den theoretischen Untersuchungen über die durch vermehrten Druck nach dem Mittelpuncte hin zunehmende Dichtigkeit folgt dann weiter, dafs die Vermehrung des Druckes, welche zur Hervorbringung einer gleichen Zunahme der Dichtigkeit erforderlich ist, stets wachsen müsse. Ivory findet dieses mit der Erfahrung nicht übereinstimmend, wonach bei geringen Pressungen die wachsenden Dichtigkeiten dem vermehrten Drucke direct proportional zu seyn pflegen; allein dieses gilt blofs von flüssigen, nicht aber von festen Körpern, und ob es auch für flüssige ganz allgemein gelte, ist noch fraglich. Im Ganzen hält Ivory indefs die Formeln, welche auf die Hypothesen einer den Quadraten des Abstandes von der Oberfläche an proportional wachsenden Dichtigkeit und des von La Place angenommenen Gesetzes des Druckes gegründet sind, nicht für zureichend, um damit die Ellipticität und die Dichtigkeit an der Oberfläche genau zu finden.

E. Gestalt der Erde nach astronomischen Bestimmungen, hauptsächlich den Mondsgleichungen.

Dieses rein astronomische Problem kann hier blofs angedeutet, und das daraus erhaltene Resultat kurz angegeben werden. Wirkte die Anziehung des Mondes gegen die Erde als kugelförmig gedacht, so müfste sie gegen jeden einzelnen Punct derselben gleich seyn. Findet dagegen eine Verschiedenheit der Länge der Axe und des Durchmessers der Erde statt, so mufs auch die Anziehung des Mondes gegen die einzelnen Puncte derselben verschieden seyn, und hieraus ein Einflufs auf die

1 Méc. cél. livr. XI. chap. 2. §. 6. Vergl. Th. Young in Connaiss. de Tems. 1822.

Nutation aus dem Stande des Mondes folgen. v. LINDENAU[1] findet hiernach aus 800 vollständigen Beobachtungen des Polarsternes die Abplattung $= \frac{1}{315,82}$, welches man bei der Schwierigkeit des ganzen Problemes als ein hinlänglich genähertes Resultat ansehen kann. Aber auch die Parallaxe des Mondes mufs nach seinem verschiedenen Stande Unterschiede zeigen, wenn die Erde nicht völlig kugelförmig ist, und hieraus müssen Ungleichheiten sowohl in seiner Länge als auch in seiner Breite hervorgehen. LA PLACE, welcher die Ursache dieser Ungleichheiten zuerst auffand[2], berechnete aus den genauen Beobachtungen von BÜRG die Gröfse der Abplattung $= \frac{1}{305,5}$ und $\frac{1}{304,6}$, welche genaue Uebereinstimmung bei der Feinheit der astronomischen Werkzeuge und Messungen allerdings grofses Zutrauen verdient[3]. Nach der letzten Revision der beiden Ungleichheiten in der Länge und Breite des Mondes, wobei viele Tausende von Beobachtungen von BÜRG, BOUVARD und BURCKHARDT beuutzt sind, findet LA PLACE[4] die Abplattung der Erde $= \frac{1}{299,1}$ wodurch sich also auch dieser Werth dem durch SABINE gefundenen mehr nähert, aus den drei Mitteln der Messung aber, nämlich aus Pendelschwingungen, Gradmessungen und Mondsgleichungen ist sie nach ihm $= \frac{1}{306,7}$, wobei aus der geodätischen Operation in Frankreich für sich allein $\frac{1}{308,6}$ hervorgeht.

F. Schlufsbemerkungen.

Ueberblicken wir jetzt nochmals die sämmtlichen Resultate,

---

1 Astron. Jahrb. 1820. p. 212. LE GENDRE in Mém. de l'Acad. 1789. p. 424 fand aus astronomischen Messungen $\frac{1}{318}$.

2 Mém. de l'Ac. 1783. Vergl. LA LANDE ebend. 1785. LE GENDRE ebend. 1789. p. 424. LA PLACE Syst. du Monde II. 89.

3 LA PLACE Méc. Cél. T. III. p. 282. Vergl. BOHNENBERGER Astron. p. 590 u. a.

4 Méc. Cél. T. V. p. 13 und 43.

welche wir als Bestimmungen der Excentricität des Erdsphäroids auf den verschiedenen Wegen erhalten haben, so führt dieses zu folgenden Betrachtungen.

1. Die unter A aufgezählten und in Rechnung genommenen verschiedenen Breitengradmessungen haben von der Seite betrachtet, dafs sie allein oder in Verbindung mit der unter B angegebenen Längengradmessungen die absolute Gröfse der Erde geben, einen unersetzlichen Werth. In Beziehung auf die dadurch gefundene Abplattung deuten sie sämmtlich auf eine geringere, als welche die Pendelbeobachtungen geben. Man übersieht allerdings bald, dafs gar leicht Fehler dabei begangen seyn können, allein wenn auch die genauesten aus allen ausgesucht werden, und bei der höchst wahrscheinlichen Voraussetzung, dafs die Fehler eben so gut auf die eine als auf die andere Seite fallen, und sich sonach ausgleichen müssen, bleibt es doch auf allen Fall höchst merkwürdig, dafs die Abplattung nach ihnen ohne willkührliche Aenderungen nicht höher hinaufgebracht werden kann, als zu $\frac{1}{305}$. An sich ist die Differenz so bedeutend nicht, wenn angenommen wird, dafs die durch Pendellängen gefundene Abplattung die richtige sey, vielmehr liegt das Auffallende nur in dem Constanten des niedrigeren Werthes. Inzwischen läfst sich erwarten, dafs es hiermit eben so, als mit den Resultaten aus Pendelschwingungen gehen wird, welche denen aus Gradmessungen erhaltenen so lange gleich kamen, bis Sabine mit geeigneten Werkzeugen und der erforderlichen Genauigkeit einen sehr grofsen Bogen mafs. Hierzu berechtigt unter andern auch der Umstand, dafs der in Frankreich gemessene Bogen mit dem lappländischen verglichen die Abplattung genau so grofs giebt, als Sabine dieselbe aus den Pendellängen bestimmt hat. Dabei darf nicht übersehen werden, dafs die Resultate aus gemessenen Längengraden zwar keineswegs sehr zuverlässig sind, im Allgemeinen aber doch für die Richtigkeit der durch Sabine gefundenen Abplattung entscheiden. Es ist daher höchst wünschenswerth und in England auch schon in Vorschlag gebracht, dafs auf gleiche Weise nochmals zwei Breitengrade, einer unter dem Aequator und einer auf Spitzbergen so genau gemessen werden mögen, dafs entweder die jetzt noch bestehende Differenz ganz aufgehoben, oder fest begründet

werde, um dann erst der Ursache derselben ernstlich nachzuspüren.

2. Es ist um so wünschenswerther, dafs die jetzt bestehende Differenz der Resultate beseitigt werde, da sie früher nicht statt fand. La Place hat nämlich vor noch nicht langer Zeit gezeigt, dafs nach den neueren Revisionen die verschiedenen Messungen die Abplattung im Mittel sehr übereinstimmend $= \frac{1}{306,75}$ oder in runder Zahl $\frac{1}{306}$ geben, worin damals die geodätischen Messungen, Pendelbestimmungungen und Ungleichheiten der Mondsbewegungen übereinkamen [1]. Gegenwärtig ist indefs der Standpunct der Sache ein anderer, und wir müssen vielmehr sagen, dafs $\frac{1}{306}$ und $\frac{1}{289}$ die beiden äufsersten Grenzen sind, zwischen welche die Ellipticität fällt. Das Verhältnifs beider ist 15 : 16, welches allerdings noch grofs genug ist, wenn man die aufserordentlichen Bemühungen erwägt, welche auf dieses Problem verwandt sind. Werden aber auf der andern Seite die Schwierigkeiten gehörig gewürdigt, welche einer noch gröfseren Uebereinstimmung im Wege stehen, so sagt Ivory mit Recht, dafs auch die schon errungene Uebereinstimmung Bewunderung erregen mufs [2].

3. Bei verschiedenen Bezeichnungen und Messungen auf der Erdoberfläche kommt die Gröfse der Excentricität als wesentliches Element in Betrachtung, und es entsteht daher die Frage, welche von den beiden Bestimmungen oder ob das Mittel aus beiden hierbei gewählt werden soll. Obgleich hierüber keine Gewifsheit gegeben werden kann, auch die geodätischen Messungen in Verbindung mit den astronomischen Bestimmungen keineswegs unwichtig sind, so fällt doch nach Wahrscheinlichkeitsgründen das Uebergewicht so sehr auf die durch Pendellängen erhaltene Bestimmung, dafs es vor der Hand und bis zur definitiven Entscheidung am rathsamsten ist, diese Gröfse als die muthmafslich richtige allein beizubehalten.

---

1 G. LXIX. 344. Mém. de l'Ac. 1817. T. II. p. 137. 1818. T. III. p. 489.

2 Phil. Mag. LXVI. 323.

III. Dimensionen der Erde und ihrer Oberfläche.

Wäre die Erde eine vollkommene Kugel, so würde bloſs erforderlich seyn, den Halbmesser derselben auf irgend eine Weise zu finden, und vermittelst dessen ihren Inhalt, ihre Oberfläche und die Theile auf derselben zu bestimmen. Es ist indeſs im vorigen Abschnitte so gut als erwiesen, daſs die Erde die Gestalt eines regelmäſsigen elliptischen Sphäroids habe, welches durch Umdrehung um die kleine Axe der Ellipse entstanden ist, und diese Form muſs daher auch bei den Bestimmungen ihrer Dimensionen zum Grunde gelegt werden. Man darf sich also hierbei bloſs an die einfache Construction der Ellipse halten, wie sie oben im Abschnitte II. zur Bestimmung der Abplattung aus gemessenen Breitengraden mitgetheilt ist, um hieraus die in dem Folgenden zu suchenden Gröſsen zu entnehmen.

Man nimmt gewöhnlich an, der Durchmesser der Erde betrage 1719 und ihr Umfang 5400 geographische Meilen. Diese für die gewöhnlichen Berechnungen hinlänglich genäherten Gröſsen sind für schärfere nicht genau genug, und es ist daher erforderlich, von sichererm Bestimmungen auszugehen. Als solche können wir die gefundene Abplattung $= \frac{1}{289,1}$ ansehen. Diese Verhältniſszahl giebt uns aber keine der wirklichen Gröſsen auf unserer Erde, sondern hierzu bedürfen wir einer eigentlichen Messung. Indem aber oben gezeigt ist, daſs keine der dort berechneten Messungen mit dieser Abplattung völlig übereinstimmt, mithin auch nicht als absolut genau betrachtet werden kann, so fragt sich, welche derselben als der Wahrheit am nächsten kommend bei den Berechnungen zum Grunde gelegt werden kann. Unter allen gemessenen Graden geben der mittlere in Frankreich gemessene und der Lappländische eine der aus Pendelschwingungen bestimmten am nächsten kommende Abplattung, und weil unter diesen der Französische am zuversichtlichsten als richtig angenommen werden kann, so ist es am rathsamsten, diesen bei den Berechnungen zum Grunde zu legen. Aus der ganzen Messung in Frankreich folgt aber die Länge eines Grades unter 44° 51′ 2″,83 = 57006,14 Toisen, und es kann also von der Wahrheit nicht merklich abweichen, wenn die Länge des Grades unter 45° N. B = 57007 Toisen in runder Zahl

angenommen wird. Es ist aber oben (No. II.) nach den Eigenschaften der Ellipse gezeigt, dafs wenn p den halben Parameter der grofsen Axe, N die Normale an den Punct M des elliptischen Bogens, R den Krümmungshalbmesser für diesen Punct bezeichnet,

Fig. 170.

$$R = \frac{p}{(1 - e^2 \text{Sin.}^2 \text{lat.})^{\frac{3}{2}}}$$

sey. Es ist aber nach der Natur des Kreises der Halbmesser r für einen gegebenen Bogen G,

$$r = \frac{180}{\pi} G;$$

folglich ist, wenn a den halben Durchmesser, b die halbe Axe bezeichnet

$$p = \frac{b^2}{a} = \frac{180}{\pi} G \, (1 - e^2 \text{Sin.}^2 \text{lat.})^{\frac{3}{2}}$$

und also

$$a = \frac{180}{\pi} G. \; \frac{a^2}{b^2} (1 - e^2 \text{Sin.}^2 \text{lat.})^{\frac{3}{2}}$$

Um hieraus a zu finden, wird die im vorigen Abschnitte gewählte Bezeichnung beibehalten, wonach $\frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2$ ist.

Hiernach wird

$$1 - e^2 = \frac{b^2}{a^2} \text{ also } e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2}.$$

Es ist aber $1 - \frac{b}{a} = \frac{1}{289,1}$

$$1 + \frac{b}{a} = 2 - \frac{1}{289,1} = \frac{577,2}{289,1}$$

$$e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2} = \frac{577,2}{83578,81}; \quad \frac{a^2}{b^2} = \frac{83578,81}{83001,61}$$

Hiernach ist

$$\begin{array}{r} 2.\ \log.\ \text{Sin.}\ 45^\circ = 9,6989700 \\ \log.\ e^2 = 0,8392301 - 3 \\ \hline \log. = 0,5382001 - 3 \text{ giebt } 0,003453028 \end{array}$$

$$\tfrac{1}{2}\log.(1-e^2\,\mathrm{Sin.}^2\,45^\circ)=0{,}9977465-1$$
$$\log.\frac{a^2}{b^2}=0{,}0030096$$
$$\log.57007=4{,}7559282$$
$$\log.180=2{,}2552725$$
$$\mathrm{c.\,ar.}\log.\pi=9{,}5028500-10$$

$\log. a = 6{,}5148068$ giebt 3271952 Toisen.

Wird mit diesem Halbmesser der Umfang des Aequators berechnet, und angenommen, daſs 15 geographische Meilen[1] auf einen Grad im Aequator gehen, so beträgt

Ein Grad im Aequator 57106,33 Toisen
Eine geographische Meile 3807,09 Toisen
oder 22842,54 Par. Fuſs
Der Durchmesser der Erde 1718,834 Meilen
Der Umfang der Erde 5400 Meilen

Es ist ferner die Länge eines elliptischen Bogens $= s$ vom Aequator bis zur Breite $= l$ genommen

$$s = a\pi\frac{1}{180}\left(1-\frac{1}{4}e^2-\frac{3}{64}e^4-\frac{45}{2304}e^6-\ldots\right)$$
$$-a\left(\frac{3}{4}e^2-\frac{3}{64}e^4-\frac{45}{2304}e^6-\ldots\right)\mathrm{Sin.}\,l.\ \mathrm{Cos.}\,l$$
$$-\frac{3}{2}a\left(\frac{5}{16}e^4-\frac{5}{576}e^6-\frac{175}{36864}e^8-\ldots\right)\mathrm{Sin.}^3 l.\ \mathrm{Cos.}\,l$$
$$-\frac{15}{8}a\left(\frac{7}{36}e^6-\frac{7}{2304}e^8-\ldots\right)\mathrm{Sin.}^5 l.\ \mathrm{Cos.}\,l$$
$$-\frac{35}{16}a\left(\frac{9}{64}e^8-\ldots\right)\mathrm{Sin.}^7 l.\ \mathrm{Cos.}\,l$$
$$-\text{etc.}$$

Wird hierin $l = 90^\circ$ genommen, also für einen ganzen Quadranten, so fallen alle Glieder auſser dem ersten weg, weil $\mathrm{Cos.}\,l = 0$ ist. Man findet hiernach den Helbmesser eines Kreises, dessen Umfang dem elliptischen Meridiane gleich ist

$$R = a\left(1-\frac{1}{4}e^2-\frac{3}{64}e^4-\ldots\right)$$

---

1 Die geographische Meile heiſst auch *deutsche* Meile, weil die Niederländischen oder Deutschen Schiffer sie zuerst bei der Verzeichnung der See- und Land-Charten gebrauchten. S. J. T. Mayer praktische Geometrie IV. 118.

Gewöhnlich findet man diesen, indem man $R = \frac{a+b}{2}$ nimmt, welches nur unbedeutend abweicht, auch kann man den Krümmungshalbmesser, welcher dem 45sten Grade der Breite zugehört, und aus der Formel $R = \frac{180}{\pi} G$ gefunden wird, wenn G die Länge eines Grades unter 45° B. bezeichnet, als den Halbmesser eines solchen Kreises nehmen, jedoch weicht dieser etwas mehr ab. Endlich ist der Halbmesser einer Kugel von gleichem Inhalte mit einem elliptischen Sphäroide, dessen halber Durchmesser $= a$ und halbe Axe $= b$ ist; $r = a \sqrt[3]{\frac{b}{a}}$, oder der Inhalt des letzteren ist $J = \frac{4}{3} \pi a^2 b$. Nach diesen Formeln sind die folgenden Werthe für das Ellipsoid der Erde bei einer Abplattung $= \frac{1}{289{,}1}$ berechnet[1].

Halber Durchmesser	3271952	Toisen.
Halbe Axe	3260634	—
Krümmungshalb. für 45°	3266260	—
$\frac{a+b}{2}$	3266293	—
Halbmesser eines Kreises, welcher mit dem Meridiane von gleicher Größe ist	3266295	—
Halbmesser einer Kugel von gleichem Inhalte als das Ellipsoid	3268175	—
Länge eines Meridians	5390,668	Meilen
Länge eines Quadranten[2]	1347,667	—
Inhalt der Erde nahe genau	2650686000	Cub. M.

Die Oberfläche eines an den Polen zusammengedrückten Sphäroids ist mit Beibehaltung der angenommenen Bezeichnungen[3]

1 Vergl. Bohnenberger Astronomie S. 208. Dort wird jedoch die Abplattung $\frac{1}{305}$ zum Grunde gelegt, und daher sind die gefundenen Größen verschieden.

2 Der zehnmillionste Theil hiervon beträgt 443,291 Par. Lin. Vergl. *Maſs*.

3 Klügel Math. Wörterbuch. IV. 393.

$$2\pi a^2\left(1+\frac{1-e^2}{2e}\ \text{log. nat.}\ \frac{1+e}{1-e}\right)$$

und durch Entwickelung in Reihen

$$4\pi a^2\left(1-\frac{1}{3}e^2-\frac{1}{15}e^4-\frac{1}{35}e^6-\frac{1}{63}e^8-\ldots\right)$$

Hiernach berechnet ist die Oberfläche der Erde = 9260500 Quad. Meilen. Die Oberfläche einer Kugel, deren Radius dem halben Durchmesser gleich wäre, würde 9281920 Quad. Meilen, und die einer Kugel vom Halbmesser der kleinen Axe 9217817 Quad. Meilen betragen.

Es ist ferner oben[1] gezeigt, daſs, wenn g einen Grad des Meridians unter dem Aequator bezeichnet, G dagegen einen Grad unter der Breite $=\psi$, so ist

$$g=G(1-e^2\ \text{Sin.}^2\psi)^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{und}\ G=\frac{g}{(1-e^2\ \text{Sin.}^2\psi)^{\frac{3}{2}}}$$

Wird hiernach aus der Länge des Grades unter 45° N. B. = G die Länge eines Grades im Meridiane unter dem Aequator gesucht, so beträgt dieser 56712 Toisen. Nach diesem Werthe sind die unten folgenden Gröſsen der Grade von 5 zu 5 Graden berechnet. Es ist ferner bei einer Kugel vom Halbmesser = R der Radius r, womit die dem Aequator parallelen Kreise unter der Breite $=\psi$ beschrieben werden, $r=R.\ \text{Cos.}\ \psi$. Für ein elliptisches Sphäroid ist aber auf gleiche Weise dieser Radius $\varrho=N\ \text{Cos.}\ \psi$, wenn N die Normale auf die kleine Axe bezeichnet. Es verhalten sich aber, wie oben gezeigt ist, die Normalen, wie die Cubikwurzeln der Meridiangrade, also $N:N'=\sqrt[3]{g}:\sqrt[3]{G}$ da sich die Meridiangrade wie die zugehörigen Krümmungshalbmesser verhalten. Unter dem Aequator aber ist $N=a$ folglich ist $a:N=\sqrt[3]{g}:\sqrt[3]{G}$ folglich $N=a\sqrt[3]{\frac{G}{g}}$, und da die Grade der mit dem Aequator parallelen Kreise sich verhalten wie die Halbmesser, so sind die Grade in den Parallelen auf der Kugel, wenn γ die Länge eines solchen Grades im

1 S. N. II. A. Formel 3 u. 4.

Aequator bezeichnet; $\gamma' = \gamma$ Cos. ψ; für das Ellipsoid aber ist

$$\gamma'' = \gamma' \sqrt[8]{\frac{G}{g}},$$ wonach die folgenden Werthe berechnet sind[1].

Breite	Grade im Meridian		Grade im Parallel	
	Toisen	Meilen	Toisen	Meilen
0	56711,96	14,896	57106,33	15,000
5	56716,44	14,897	56890,51	14,943
10	56729,70	14,901	56244,63	14,773
15	56751,34	14,907	55173,25	14,492
20	56780,75	14,914	53684,07	14,101
25	56817,07	14,924	51787,86	13,603
30	56859,15	14,935	49498,27	13,002
35	56905,80	14,947	46832,00	12,301
40	56955,57	14,960	43808,53	11,507
45	57007,00	14,974	40450,17	10,625
50	57058,46	14,987	36781,85	9,661
55	57108,46	15,000	32831,00	8,623
60	57155,41	15,013	28627,40	7,519
65	57197,94	15,024	24202,92	6,357
70	57234,70	15,034	19591,34	5,146
75	57264,54	15,041	14828,05	3,895
80	57286,54	15,047	9949,79	2,613
85	57300,04	15,051	4994,29	1,312
90	57304,51	15,052	0,00	0,000

Ausführlichere Tabellen dieser Art werden zum Verzeichnen der Landcharten berechnet. Die Differenz der Längen der Meridiangrade ist zwar zu unbedeutend, als dafs sie auf dem Papiere ausgedrückt werden könnte, die Längengrade aber, welche insbesondere bei grofsen Ländertheilen bedeutend verschieden sind, werden dann nach solchen Tabellen aufgetragen[2].

Es ist oben die Länge des Quadranten der Erde gefunden. Nimmt man hiervon den 324000sten Theil, oder den Bogen, welcher einer Secunde zugehört, so beträgt dieses 95,484 Par. F.; wird aber die Gröfse eines Grades unter dem 45sten Grade der Breite

---

1 Vergl. G. G. Schmidt Naturlehre II. S. 602, §. 303. Ausgabe 1813.

2 S. J. T. Mayer vollständige und gründliche Anweisung zur Verzeichnung der Land - See - und Himmelscharten und der Netze zu Coniglobien und Kugeln u. s. w. Der practischen Geometrie 4ter Th. Erlangen 1815. S. 125. Puissant Traité de Géodésie. Par. 1819. 2 Vol. 4. Die Tabellen am Ende des ersten Th.

zu 57007 Toisen bei dieser Bestimmung zum Grunde gelegt, so beträgt der Bogen für eine Secunde 95,012 Par. F. Man darf also im genäherten Werthe annehmen, daſs der Polarstern um 1″ im Bogen höher herauf kommt oder tiefer herabsinkt, wenn man sich 95 F. weiter nach Norden oder nach Süden bewegt, und allgemein wird sich im Mittel die Polhöhe oder die Breite für diese Entfernung im Meridiane um 1″ ändern. Für die ungleichen Gröſsen der Längengrade im Parallele läſst sich eine solche allgemeine Bestimmung nicht geben. Nehmen wir aber nach der oben gegebenen Bestimmung die Gröſse eines Grades im Parallel unter 50° der Breite = 36781,85 an, so kommen auf einen Bogen von 1″ nur 61,3 Par. F. und da 15 Sec. im Bogen auf 1 Sec. in Zeit gehen, so wird bei einer Entfernung von 920 Par. F. unter dieser Breite die Zeit um 1 Sec. differiren. Hieraus ergiebt sich, daſs in groſsen Städten an den äuſseren Enden in der Richtung von O. nach W. die Uhren genau genommen nicht bis auf Secunden übereingehen können, wenn man verlangt, daſs beide richtig gehen sollen, desgleichen muſs die Polhöhe in der Richtung von N. nach S. um mehrere Secunden verschieden seyn. Indem endlich der Winkel, welchen die Tangente an einem Kreise mit diesem Kreise macht, der Hälfte des Winkels am Mittelpuncte gleich ist, so muſs die Horizontalfläche bei der Erde, wenn sie als kugelförmig gedacht wird, für eine Entfernung von 95 F. um ½ Sec. herabsinken. Dieses kommt beim Nivelliren in Betrachtung, und überhaupt bei verschiedenen Messungen, weswegen man für diesen Zweck Tabellen verfertigt, welche nach diesem Maſse berechnet sind.

So wie bei der bedeutenden Abplattung der Erde die ganze Oberfläche derselben von derjenigen nicht unmerklich abweicht, welche einer Kugel vom mittleren Halbmesser zwischen dem halben Durchmesser und der halben Axe zugehört, so ist dieses auch bei den einzelnen Kugelzonen der Fall. Inzwischen kann man ohne bedeutenden Fehler annehmen, daſs die einzelnen Zonen den Sinussen der Breite, zwischen denen sie liegen, direct proportional sind, wie dieses bei einer Kugel der Fall seyn würde. Heiſst also die oben angegebene ganze Oberfläche des Ellipsoids S, so ist die um den Pol liegende, durch den Parallel unter der Breite ψ abgeschnittene Zone

$= \frac{1}{2}$ S (1 — Sin. ψ) und der Theil vom Aequator bis zur glei-

chen Breite $= \frac{1}{2}$ S. Sin. ψ. Diesemnach ist eine zwischen den Parallelen unter der Breite φ und ψ liegende Zone $= \frac{1}{2}$ S (Sin. φ — Sin. ψ). Hiernach findet man, die halbe Oberfläche wie oben angenommen,

die halbe äquatorische Zone = 1947293 Quad. M.
die gemäfsigte — — 2399907 — —
die kalte — — 384050 — —

Diese Gröfsen können aber wegen der bedeutenden Abplattung nicht genau seyn. Will man dagegen die Gröfse einer einzelnen Erdzone mit Rücksicht auf die elliptische Gestalt genau finden, so kann man sich der folgenden bequemen Formel bedienen[1]. Behält man die Bedeutungen von a und b bei, nennt $\frac{a-b}{a+b} = m$, und heifst der Grad der Breite, bis an welchen die Zone gemessen werden soll, φ, die Kugelzone = Z, so ist:

$$Z = 2\pi a^2 \left(\frac{1-m}{1+m}\right) \Big(\text{Sin. } \varphi - \frac{1}{3} m (2+m) \text{ Sin. } 3\varphi$$
$$+ \frac{1}{5} m^2 (3+2m) \text{ Sin. } 5\varphi - \frac{1}{7} m^3 (4+3m) \text{ Sin. } 7\varphi + \ldots\Big)$$

Für die angenommene Abplattung ist

$\frac{b}{a} = \frac{1-m}{1+m} = \frac{288,1}{289,1}$ und $m = \frac{1}{577,2}$, wonach also

$$\begin{aligned} Z = 2\pi a^2 \,(&0{,}996540982359 \text{ Sin. } \varphi \\ -\ &0{,}001156001720 \text{ Sin. } 3\varphi \\ +\ &0{,}000001803018 \text{ Sin. } 5\varphi \\ -\ &0{,}000000002911 \text{ Sin. } 7\varphi \\ +\ &\text{etc.} \ldots) \end{aligned}$$

Wird hierin $\varphi = 90°$, so giebt die Formel die halbe Oberfläche. Diesemnach ist die ganze Oberfläche

$O = 4\pi a^2\,(0{,}997698790008) = 9260500$ Quad. Meilen, wie oben.

---

1 S. Klügel math. Wörterbuch, fortgesetzt von Mollweide IV. 398. Die Formel ist daselbst ausführlich abgeleitet, und mit andern verglichen. Aehnliche Formeln und Berechnungen der Erde als Kugel und Sphäroid nach Hectaren findet man bei Puissant a. a. O. I. 330 ff.; Pasquich's Formel zur Berechnung der Erdzonen in Mon. Cor. I. 183. Vergl. IX. 301.

Nennt man aber die Coefficienten von Sin. φ; Sin. 3φ; u. s. w. = A; B; C; D; so ist

$$\log. A = 0{,}9984952 - 1$$
$$\log. B = 0{,}0629585 - 3$$
$$\log. C = 0{,}7783774 - 7$$
$$\log. D = 0{,}8619231 - 10$$

Sollte eine zwischen den Parallelen unter den Breiten φ und ψ liegende Zone gesucht werden, so würde Z' die bis zur Breite $= \psi$ reichende Zone vom Aequator an gerechnet, nach der nämlichen Formel gefunden werden, die zwischenliegende Zone aber dem Unterschiede beider gleich seyn. Man könnte daher jede für sich berechnen, uud die eine von der andern abziehen, oder da Sin. ψ — Sin. $\varphi = 2$ Sin. $\frac{1}{2}(\psi - \varphi) \times$ Cos. $\frac{1}{2}(\psi + \varphi)$ ist, so darf man nur in die Formel setzen

statt Sin. φ; 2 Sin. $\frac{1}{2}(\psi - \varphi)$ Cos. $\frac{1}{2}(\psi + \varphi)$
statt Sin. 3φ; 2 Sin. $\frac{3}{2}(\psi - \varphi)$ Cos. $\frac{3}{2}(\psi + \varphi)$
statt Sin. 5φ; 2 Sin. $\frac{5}{2}(\psi - \varphi)$ Cos. $\frac{5}{2}(\psi + \varphi)$
statt Sin. 7φ; 2 Sin. $\frac{7}{2}(\psi - \varphi)$ Cos. $\frac{7}{2}(\psi + \varphi)$

Werden nach dieser Formel die oben angegebenen, durch die Wendekreise und die Polarkreise abgeschnittenen Zonen berechnet, und nimmt man die Schiefe der Ekliptik, wie gewöhnlich, in runder Zahl = 23,5 Grade an, so daſs die äquatorische Zone auf jeder Seite des Aequators bis 23° 30', die gemäſsigte bis 66° 30' die kalte von dort bis an den Pol reicht, so beträgt

die halbe äquatorische Zone	1839123	Quad. M.
— ganze — — —	3678246	— —
die gemäſs. — — —	2403988	— —
die kalte — — —	387139	— —

Die beiden gemäſsigten Zonen zusammen betragen also den gröſsten Theil der Erdoberfläche, und 355452 Quad. M. mehr als die heiſse und die beiden kalten zusammengenommen[1]. Leicht kann hiernach der Inhalt eines Theiles einer Zone gefunden werden, welcher zwischen gegebenen Parallelen und Meridianen eingeschlossen ist, wenn man den Inhalt der ganzen Zone

---

1 Die Ausmessung einzelner Theile der Erdoberfläche mit Rücksicht auf ihre ellipsoidische Gestalt gehört zur höheren Geodäsie, und wird hier billig übergangen. M. s. auſser den angeführten Werken von Puissant u. Mayer nach Späth höhere Geodäsie. München 1816. Th. I.

ucht, diesen mit der Zahl der Grade der einschliefsenden Parallele multiplicirt und durch 360 dividirt.

Die Lage der Oerter auf der Oberfläche der Erde wird durch den Meridian und den Parallel bestimmt, in welchen sie liegen. Jenes heifst die *Breite*, dieses die *Länge* derselben, wie oben schon angegeben ist. Man verfertigt hiernach Tabellen, welche die Länge und Breite der verschiedenen Oerter enthalten, wie solche von Vega[1], Bode[2], vom *Bureau des Longitudes*[3] u. a. zusammengestellt sind. Soll die Entfernung zweier Oerter von einander gefunden werden, so gehört die allgemeine Auflösung dieser Aufgabe, wenn man die elliptisch-sphäroidische Gestalt der Erde berücksichtigt, unter die schwierigeren geometrischen Probleme[4]. Betrachtet man dagegen die Erde als eine Kugel, welches für den gewöhnlichen Gebrauch hinreicht, so gehören hierunter folgende drei leicht zu lösende Aufgaben. 1. Wenn beide Oerter unter dem nämlichen Meridiane liegen, so giebt die Differenz ihrer Polhöhen in Graden, jeden im Mittel zu 15 geographischen Meilen gerechnet, oder die Länge der Grade nach der oben mitgetheilten Tabelle genommen, und jene Differenz mit diesem Factor multiplicirt, die Entfernung bis auf den aus der Interpolation der oben gegebenen Gröfsen entstehenden Fehler genau. 2. Liegen beide Oerter unter dem nämlichen Parallele, so giebt jene Tabelle gleichfalls das Mittel, ihre Entfernung zu berechnen. 3. Liegen dagegen beide unter verschiedenen Breiten und Längen, so kann die Entfernung durch die gesuchte Hypotenuse eines sphärischen Dreiecks bestimmt

---

1 Anhang zu seinen logarithmisch-trigonometrischen Tafeln Th. II.

2 Anleitung zur allgemeinen Kenntnifs der Erdkugel. 2te Aufl. Berl. 1803. S. 261.

3 In der Connaissance des Tems. Viele einzelne zerstreute Angaben finden sich in v. Zach's monatlicher Correspondenz u. s. w., und in der Correspondance astronomique, in Bode's astronomischem Jahrbuche, Schumacher's astronomischen Nachrichten; vorzüglich reichhaltig ist v. Krusenstern Beiträge zur Hydrographie der gröfseren Ozeane u. s. w. Leipz. 1819. 4. Eine genaue tabellarische Zusammenstellung dieser geographischen Bestimmungen wäre zwar schwierig, aber sehr wünschenswerth.

4 Die Linie heifst die *geodätische Linie*. Formeln zur Berechnung derselben findet man bei Puissant a. a. O. II. 237 ff. bei Littrow. Theoretische u. praktische Astronomie. Wien. 1821. II. Th. S. I. 278. Vergl. *Geodäsie*.

werden. Sind demnach die Breiten derselben φ und ψ, ist der Unterschied der Längen $= \lambda$, heifst ferner $90° - \varphi = \alpha$; $90° - \psi = \beta$; der Bogen des gröfsten Kreises, welcher ihre Entfernung mifst d, so ist im sphärischen Dreieck

$$\text{Cos. } d = \text{Cos. } \alpha. \text{ Cos. } \beta + \text{Sin. } \alpha. \text{ Sin. } \beta. \text{ Cos. } \lambda.$$

Werden die hierdurch gefundenen Grade von Cos. d durch Multiplication mit 15 in Meilen verwandelt, so findet man hierdurch die Entfernung im genäherten Werthe.

IV. Dichtigkeit der Erde.

Theoretische Untersuchungen über die Dichtigkeit der Erde kamen hauptsächlich in Betrachtung bei der Bestimmung ihrer Gestalt nach den mechanischen Gesetzen des Gleichgewichts eines um seine Axe rotirenden Sphäroids mit Rücksicht auf die Abnahme der Schwere von den Polen nach dem Aequator hin, und diese sind daher oben (II. D.) beiläufig erwähnt. Sie können auf keine Weise zur Auffindung der absoluten Dichtigkeit der Erde führen, sondern beziehen sich blofs auf das Verhältnifs der oberen Erdschichten zu den mittleren und unteren. Inzwischen folgt aus ihnen vermittelst sinnreicher Combinationen, dafs die Erde nicht *gleichförmig* dicht seyn kann, weil sonst die Abplattung $\frac{1}{230}$ betragen müfste, wie aus NEWTON's oben erwähnter Demonstration hervorgeht. Eben dieses folgt aus den gemessenen Pendellängen unter verschiedenen Breiten. Bei einer gleichförmigen Dichtigkeit der Erde müfste sich nämlich der halbe Durchmesser derselben zur halben Axe verhalten wie die Schwere unter dem Pole zur Schwere unter dem Aequator, und da sich die letzteren wie die Längen des einfachen Secundenpendels verhalten, so müfste die Abplattung nach den neuesten Messungen $\frac{1}{192,7}$ betragen[1], was weder mit geodätischen Messungen noch mit astronomischen Beobachtungen verträglich ist. Man begreift aher leicht, dafs bei einer gröfseren Dichtigkeit des Erdsphäroids um sein Centrum und dadurch entstehender stärkerer Anziehung die Zunahme der Schwere nach dem Pole hin gröfser seyn mufs, als der vorhandenen Abplattung proportional ist, weil die unter dem Aequator hinzukommende

1 S. oben II. C.

Masse von der stärkeren Anziehung im Mittelpuncte weniger afficirt wird. Wäre dagegen die ganze Anziehungskraft der Erde in ihrem Mittelpuncte vereinigt, so müſste nach Huygens die Schwungkraft auf die im halben Halbmesser derselben liegenden Theile gleichmäſsig wirken, und daher eine der Hälfte dieser Schwungkraft proportionale Abplattung des Sphäroids erzeugen, so daſs diese also $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{289,1} = \frac{1}{578}$ betragen würde[1]. Nach den neuesten Pendelversuchen beträgt die Zunahme der Schwere vom Aequator zum Pole $\frac{1}{192,7}$, welches mit dem Verhältnisse der Schwungkraft zur Schwere unter dem Aequator verglichen, letztere $= k = \frac{1}{289,1}$ gesetzt, genau $\frac{3}{2}$ k beträgt. Indem aber die Verminderung der Schwere unter dem Aequator eine Folge der Schwungkraft ist, diese aber $= k$ genommen werden muſs, so bleibt als Wirkung der Abplattung $\frac{1}{2}$ k übrig. Hieraus folgt unmittelbar, daſs weder die gesammten Schichten des Erdsphäroids gleichmäſsig dicht seyn können, noch auch daſs die Schwere im Mittelpuncte desselben allein vereinigt anzunehmen sey. Vielmehr muſs das Mittel von diesen beiden Voraussetzungen als richtig angenommen werden, d. h. die einzelnen Schichtungen des elliptischen Erdsphäroids haben eine den Wirkungen der Schwungkraft proportionale Abplattung erhalten, ihre mittlere Dichtigkeit ist aber das Mittel zwischen der gröſsten im Centro und der geringsten an der Oberfläche, oder aber sie nehmen gleichmäſsig von oben nach dem Mittelpuncte hin an Dichtigkeit zu[2].

Eine Zunahme der Dichtigkeit der einzelnen Schichtungen des Erdsphäroids liegt schon als Folge des stärkeren Druckes der gesammten Theile in der Natur der Sache, und ist deswegen bisher von den Physikern allgemein angenommen. Verschiedene groſse Geometer haben es daher auch versucht, die sphäroidische Gestalt der Erde als Folge ihrer Rotation um die kleine Axe und ihre mittlere Dichtigkeit als Folge des Druckes, welchen die einzelnen Schichtungen auf einander ausüben, wech-

1 Vergl. Bohnenberger *Astronomie.* S. 651.
2 Vergl. oben II. D.

selseitig aus einander abzuleiten. Vorzüglich geschah dieses durch LEGENDRE[1], am ausführlichsten durch LA PLACE[2], welcher hierbei theils das Gesetz der Zusammendrückung des Wassers nach CANTON zum Grunde legt[3], theils eine Anwendung desselben auf die Gröfse der Zusammendrückung fester Körper durch eine gegebene Last macht[4]. Dieses führte ihn aber auf die Folgerung, dafs bei einer mittleren Dichtigkeit der äufsern Erdrinde = 2,5 und unter der Veraussetzung, dafs eine dieser ähnlichen Substanz durch eine aus gleicher Masse bestehende Säule von einem Millliontheile der halben Axe an Länge um 5,5345 Milliontheile ihres Volumens zusammengedrückt werden würde, den Resultaten der Messungen Genüge geschehen könne. Wenn man dagegen annähme, dafs sie aus Substanzen bestände, deren Dichtigkeit bei 10° C. durch den Druck einer Wassersäule von 10 Atmosphären Gewicht um 44 Milliontheile vermehrt würde, wie CANTON beim Wasser gefunden hat, so würde die Abplattung $= \frac{1}{360}$, die Zunahme der Pendellänge = 0,0000059 $\sin^2$ lat. und die mittlere Dichtigkeit des ganzen Sphäroids = 9 seyn, was gegen die Erfahrung streitet, und er gelangt daher zu der Ueberzeugung, dafs auf diesem Wege kein sicheres Resultat zu erlangen sey. Auch THOMAS YOUNG[5] hat sich auf diesem schwierigen Felde der analytischen Forschungen versucht, ohne eine vollständige Lösung des dunkeln Problems zu erhalten. Am tiefsten ist LA PLACE[6] und nach dessen Vorgange IVORY[7] in diese Untersuchungen eingegangen. Ersterer legt eine Abplattung $= \frac{1}{306,7}$ zum Grunde, setzt die Dichtigkeit der oberen Erdrinde = 3, welches ohngefähr das spec. Gew. des Granites ist, und findet dann die mittlere Dichtigkeit der Erde = 4,761 mit den Versuchen sehr nahe übereinstimmend. Das spec. Gew. der oberen Erdrinde = 3 könnte man

1 Mém. de l'Ac. 1789. p. 372.
2 Méc. Cél. T. II. L. III. chap. 3.
3 Méc. Cél. T. V. L. XI. ch. II. p. 22.
4 Ann. Chim. Ph. XI. 34.
5 Phil. Tr. 1819. p. 87.
6 Méc. Cél. T. V. p. 46.
7 Phil. Mag. LXVI. 321.

zu grofs finden, wenn man den bedeutenden Wassergehalt der Erde besonders hervorheben wollte. Allein La Place hat anderweitig gezeigt, dafs das Meer nicht sehr tief, im Mittel schwerlich über eine halbe Meile ist, und wollte man dessen Tiefe auch zu einer ganzen Meile setzen, so betrüge dieses erst den 860sten Theil des Halbmessers. Nimmt man die schwereren basaltischen und vulcanischen Massen hinzu, so wird jene Angabe nicht zu grofs erscheinen, und beide Werthe kommen demnach der Wahrheit näher, als sich bei so verwickelten Untersuchungen erwarten liefs. Ivory dagegen legt die neuerdings durch Sabine gefundene Abplattung zum Grunde, nimmt die mittlere Dichtigkeit der Erde = 5,48 an, und findet dann die der Oberfläche = 2,88, also nahe genau wie die des Berges Shehallien. Allein jene erste Gröfse ist sicher zu grofs, indem die mittlere Dichtigkeit der Erde nicht füglich gröfser als höchstens = 5 angenommen werden kann, und die letztere ist wahrscheinlich zu klein. Inzwischen gesteht Ivory selbst zu, dafs vollkommene Gewifsheit auf diesem Wege nicht zu erlangen sey, und auch La Place berücksichtigt insbesondere unsere Unbekanntschaft mit der Temperatur, welche dem Innern der Erde zugehört. Wenn man dieses letztere Argument gehörig würdigt, nämlich dafs die Temperatur des Erdkernes schwerlich jemals ausgemittelt werden wird [1], und berücksichtigt, dafs es noch sehr problematisch ist, ob das Gesetz der Verminderung des Volumens fester Körper durch einen Druck von so ungeheurer Gröfse, als die oberen Lagen des Erdballs auf die unteren muthmafslich ausüben, sich durch Versuche bestimmen lasse [2], so erkennt man in diesen beiden Ungewifsheiten ganz unüberwindliche Hindernisse einer vollständigen Lösung des schwierigen Problems auf dem angegebenen Wege. So viel folgert inzwischen La Place mit Recht als sicheres Resultat der vielen scharfsinnigen Untersuchungen, dafs in Gemäfsheit

---

1 Vergl. den folgenden Abschnitt.

2 Ein Ungenannter in London macht verschiedene Einwendungen gegen die Voraussetzungen La Place's über den Grad der Zusammendrückung, welchen die festen Theile im Innern der Erde erleiden, und die daraus folgende wahrscheinliche Dichtigkeit. S. Bibl. univ. XV, 3. Allein diese treffen die Sache nicht, da jener grofse Geometer seine, übrigens immer sehr wahrscheinlichen Annahmen allezeit blofs als Hypothesen betrachtet hat.

der den Quadraten der Sinusse der Breiten proportionalen Zunahme der Schwere *eine regelmäſsige Lagerung der einzelnen elliptisch-sphäroidischen Schichtungen der Erde um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunct nicht bezweifelt werden kann*[1]. Es schlieſst sich dann an diese so eben erörterte Aufgabe eine andere an, welche zwar gleichfalls nichts weniger als leicht, aber doch durch den Fleiſs und Scharfsinn der Forscher ziemlich genügend beantwortet ist, nämlich über die mittlere Dichtigkeit der Erde im Allgemeinen.

Bei der Beantwortung dieser Frage ist man von dem einfachen Grundsatze ausgegangen, daſs sich bei der bekannten Gröſse der Erde ihre mittlere Dichtigkeit aus der bekannten Dichtigkeit anderer Körper finden lasse, wenn man diejenigen Anziehungen vergleiche, welche beide gegen einen dritten Körper ausüben. Es ist schon oben gezeigt[2], daſs Newton das nach ihm benannte Gesetz der allgemeinen Anziehung aufstellte, und zugleich sind die Versuche erwähnt, welche man zur Bestätigung desselben anstellte. Das dabei zum Grunde liegende allgemeine Gesetz ist, daſs die Anziehungen zweier Körper sich zu einander direct wie ihre Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Heiſsen daher die Massen m und m', die Abstände r und r', die Anziehungen g und g' (wovon die erstere bei der Erde durch den Fallraum gegeben ist, welchen ein Körper im leeren Raume in einer Secunde zurücklegt), so ist

$$g : g' = \frac{m}{r^2} : \frac{m'}{r'^2}.$$

Hinsichtlich auf die Dichtigkeiten d und d' aber verhalten sich diese

$$d : d' = \frac{m}{r^3} : \frac{m'}{r'^3}.$$

A. Dichtigkeit der Erde nach der Anziehung groſser Gebirgsmassen.

Unter den Versuchen, welche die Einwirkung groſser Gebirgsmassen auf ein in ihrer Nähe herabhängendes Loth ausüben, hat man vorzugsweise nur diejenigen zur Bestimmung der mitt-

1 Méc. Cél. T. V. p. 12.

2 S. Th. I. S. 328.

leren Dichtigkeit der Erde benutzt, welche durch Maskelyne und Hutton an der Grenze von Schottland angestellt wurden[1]. Der erstere brachte dieselben in Vorschlag, und wählte dazu die Bergkette *Shehallien* (gälisch *Thichallin)* in *Pertshire*, welche sich von W. nach O. erstreckt, und daher auf ein an ihrer Südseite und Nordseite herabhängendes Bleiloth in entgegengesetzter Richtung wirken muſs. Denkt man sich zur Versinnlichung den Berg M, die Lothe $a a'$ und $b b'$ durch seine Anziehung in die Richtungen $a\alpha$ und $b\beta$ gezogen, so ist die Differenz des Bogens $\alpha\beta$ und ab, welche beide aus astronomischen und geodätischen Messungen gefunden werden, die doppelte Wirkung der Anziehung, welche $\frac{1}{2}$ mal genommen die Anziehung des Berges giebt. Die genannten mühsamen Messungen und die erforderlichen gleichfalls sehr weitläuftigen Rechnungen wurden durch Maskelyne und Hutton in den Jahren 1774, 75 und 76 beendigt[2], und die Art des dabei befolgten Verfahrens nebst den erhaltenen Resultaten sind auch später von Hutton ausführlich beschrieben[3]. Die Messungen selbst hier mitzutheilen würde überflüssig seyn, und es wird daher genügen bloſs die Art anzugeben, wie aus den erhaltenen Gröſsen die Dichtigkeit der Erde gefunden ist. Nach Hutton war die Summe der Anziehungen (der anziehenden Masse) zwischen der nördlichen und südlichen Station des Berges $= 8811 \quad 2$. Um diese mit der durch die ganze Erde bewirkten zu vergleichen, sieht er die letztere als eine Kugel an, und setzt die Anziehung einer solchen gegen einen Körper auf ihrer Oberfläche $= \frac{2}{3} D\pi$ oder $= \frac{2}{3} P$, wenn D den Durchmesser, P den

Fig. 172.

---

1 Die Versuche der französischen Akademiker über die Anziehung der Gebirgsmassen unter dem Aequator sind hierzu unbrauchbar, weil die dortigen Berge ausgebrannte Vulcane sind, deren Dichtigkeit daher unbestimmbar ist. Auſserdem hatten jene Gelehrte mit unüberwindlichen Schwierigkeiten der Localität zu kämpfen, und begnügten sich daher, die damals noch streitige Frage über diese Art der Anziehung überhaupt auſser Zweifel zu setzen. Das Resultat eines neueren Versuches von Carlini s. unten.

2 Phil. Trans. 1775 und 1778.

3 Tracts on mathematical and philosophical subjects. Lond. 1812. III vol. 8. II. 1 ff.

Umfang bezeichnet. Die Länge eines Grades unter 45° der Breite, oder eines mittleren Grades der Erde bestimmt er nach älteren Messungen[1] zu 57030 Toisen oder 342180 Par. Fuſs, welche nach dem angenommenen Verhältnisse des Londoner Fuſses zum Pariser = 72 : 76,734 für den ganzen Umfang 131284080 Lond. F. und mit $\frac{2}{3}$ multiplicirt 87522720 als Maſs der Anziehung geben. Das Verhältniſs der Anziehungen der Erde und des Berges ist also 87522720 : 8811 $\frac{2}{3}$ d. i. nahe genau 9938 : 1 unter der Voraussetzung einer gleichmäſsigen Dichtigkeit. Maskelyne hatte aber die Summe der Abweichungen des Lothes, oder den Unterschied der beiden Bogen $\alpha\beta$ und a′b = 11″,6 gefunden, wonach also die Anziehung der Erde zu der des Berges nahe genau = 1 : tang. 11″,6 = 1 : 0,000056239 oder = 17781 : 1 und mit Rücksicht auf den Einfluſs der Schwungkraft = 17804 : 1 ist. Die beiderseitigen Dichtigkeiten müssen sich daher verhalten wie 17804 : 9938, oder nahe wie 9 : 5.

Fig. 172.

Hutton hat später seine Bestimmung der Dichtigkeit der Erde mehrmals revidirt, allein die bisher angegebenen Gröſsen stets unverändert beibehalten. Es ist aber oben nachgewiesen, daſs der mittlere Grad des Erdsphäroids nicht 57030, sondern nur 57007 Toisen beträgt. Wird überhaupt aus dem Halbmesser einer Kugel von gleichem Inhalte, als das elliptische Sphäroid der Erde, der Werth von $\frac{2}{3}$ P gesucht, so ist dieser in englischen Fuſsen = 87536260. Das Verhältniſs dieser Zahl zu 8811 $\frac{2}{3}$ ist dann = 9934,1 und da die Zahl 17804 unverändert bleibt, so ist das Verhältniſs der Zahlen 17804 : 9934,1 = 2,2562 : 1 oder = 9 : 5,0217, welches von jenem oberen nicht merklich abweicht, jedoch ist jenes nicht, wie Hutton meint, bis auf 0,02 oder noch weniger bis auf 0,01 genau. Ich werde diese neuere Bestimmung auch in der Folge benutzen.

Um hieraus die Dichtigkeit der Erde zu finden, ist dann ferner erforderlich, die Dichtigkeit der verglichenen Masse genau zu kennen. Nach den früheren Bestimmungen nahm Hut-

1 Die Gröſse ist entnommen aus Phil. Trans. 1768. p. 327.

TON[1] sie = 2,5 an, die des Wassers = 1 gesetzt, und dann ist $\frac{17804}{9933} \times 2{,}5 = 4{,}481$. Späterhin[2] folgte er mehr der Angabe des mit jenen Gegenden sehr vertrauten MACARA von FORTINGAL, welcher das spec. Gew. der schwarzen, Syenit-artigen, Masse des Berges = 3,0 setzte, so dafs die Dichtigkeit der Erde hiernach = 5,377 ... wurde, eine Bestimmung, welche sicher zu grofs ist. Indefs war HUTTON geneigt, aus beiden Werthen das arithmetische Mittel zu nehmen, welches allerdings mit den später durch PLAYFAIR erhaltenen Resultaten genauer übereinstimmt. Wie HUTTON nämlich die Untersuchungen des letzteren benutzt, besteht der Berg aus körnigem Quarz, Glimmerschiefer und Kalk, welche als mittleres spec. Gew. 2,75 haben, so dafs also das spec. Gew. der Erde $\frac{9}{5} \times 2{,}75 = 4{,}95$ oder nahe = 5 ist, wie schon NEWTON vermuthete[3]. Er schliefst hieraus dann ferner, dafs mehr als zwei Dritttheile der Erde aus Metall, und vermuthlich aus Eisen bestehen müssen.

HUTTON bemerkt nicht mit Unrecht, dafs diese Versuche die ersten sind, welche von dieser Art angestellt wurden, dafs daher bei einer ganz neuen Operation leicht Fehler begangen seyn könnten, weswegen zu wünschen wäre, dafs sie an andern Orten wiederholt werden möchten. Indefs ergaben spätere Prüfungen[4], dafs die Messungen an sich nichts zu wünschen übrig lassen, und dafs sie daher allerdings zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde sehr geeignet sind, sobald es nur möglich ist, die mittlere Dichtigkeit des Berges mit völliger Genauigkeit zu finden. PLAYFAIR[5] suchte daher diesen Theil der Aufgabe so vollständig, wie möglich zu lösen. In Verbindung mit Lord WEBB SEYMOUR untersuchte er genau die geognostische Beschaffenheit des Berges, das spec. Gew. der einzelnen Lagerungen und ihre Masse, desgleichen das Verhältnifs ihrer Lage zu den Beobachtungsorten. Sie fanden im Allgemeinen den Berg aus dreierlei Felsarten bestehend, nämlich aus körni-

1 Phil. Trans. LXVIII. 781.
2 Tracts. II. 1.
3 Vergl. HUTTON in Phil. Trans. 1821. p. 276.
4 Vergl. *Anziehung*. Th. I. S. 329.
5 Phil. Trans. 1811. p. 347. im Auszuge bei G. XLIII. 62.

gem Quarz vom mittleren spec. Gew. = 2,6398, aus Glimmer- und Hornblendeschiefer vom mittleren spec. Gewichte = 2,83255 und aus Kalkstein vom mittlerem spec. Gew. = 2,76607. Das Mittel aus den letzteren beiden Felsarten betrug 2,81039. Nach der Art, wie HUTTON den Berg aus einzelnen Säulen bestehend annahm, und deren Anziehung gegen das Loth berechnete, verfährt auch PLAYFAIR, und indem er die das Loth ablenkende Gesammtkraft für die Masse des körnigen Quarzes = Q und für die Masse des übrigen Gesteines = M setzt, von der Summe des anziehend wirkenden die des entgegen wirkenden abzieht, so findet er mit Beibehaltung der übrigen durch HUTTON angenommenen Gröfsen für die Wirkung des Berges und der Erde folgende Proportion,

$$17804 : 1 = 87522720\ D : 13843{,}126\ Q - 5030{,}214\ M$$

woraus die Dichtigkeit der Erde

$$D = 2{,}816\ Q - 1{,}023\ M$$

gefunden wird. Hierin die oben gefundenen Werthe für Q = 2,639876 und für M = 2,81039 substituirt folgt die Dichtigkeit der Erde

$$1.\quad D = 4{,}55886.$$

Weil man indefs nicht wissen kann, wie tief der körnige Quarz die Masse des Berges bildet, so hat PLAYFAIR den Werth von D auch für den Fall berechnet, dafs der Kern des Berges aus Glimmerschiefer bestände, nach welcher Hypothese

$$D = 1{,}0053\ Q - 0{,}78743\ M$$

und mit Beibehaltung der Bestimmungen von Q und M,

$$2.\quad D = 4{,}866997$$

seyn würde. Der letztere Werth ist sehr nahe der mittleren zwischen der früheren Angabe HUTTON's = 4,481 und der durch CAVENDISH[1] vermittelst der Drehwaage gefundenen Gröfse = 5,48. Indefs hält PLAYFAIR wohl nicht mit Unrecht die Versuche am Shehallien für so genau, dafs er geneigt ist, das Mittel aus den beiden gefundenen Werthen von D, nämlich dem Minimum = 4,55886 und dem Maximum = 4,867 zu nehmen, wonach also

$$D = 4{,}713$$

als die genaueste Bestimmung für die Dichtigkeit der Erde zu betrachten wäre. Wird in diesen Formeln die oben gefundene

---

1 S. unten B.

genauere Gröfse für die Dimension der Erde gesetzt, so erhält man mit Beibehaltung der übrigen Werthe nach der ersten Berechnung

$$D = 2{,}8155\ Q - 1{,}0231\ M$$

wonach also

$$1. \quad D = 4{,}55741$$

ist. Nach der zweiten Formel berechnet wird

$$D = 1{,}005\ Q - 0{,}78718\ M$$

woraus durch gleiche Substitution

$$2. \quad D = 4{,}865448$$

wird. Das arithmetische Mittel beider Werthe gäbe dann

$$D = 4{,}71143$$

von der durch Playfair gefundenen Gröfse nur unbedeutend verschieden. Hutton meinte indefs bei einer späteren Revision seiner eigenen Versuche, und einer Vergleichung derselben mit denen, welche Cavendish zu gleichem Zwecke mit der *Drehwaage* anstellte, dafs man 5 als die mittlere Dichtigkeit der Erde ansehen könne. Zugleich war er für diese Methode, welche ihm so viele Zeit und Mühe gekostet hatte, so eingenommen, dafs er noch in seinem hohen Alter von 84 Jahren den Vorschlag that, ähnliche Messungen bei einer ägyptischen Pyramide vorzunehmen [1].

Aufser dieser Messung haben wir kürzlich noch eine ähnliche, minder schwierige und weitläuftige, aber dennoch wegen der angewandten feineren Methode gleich schätzbare und als Controle der beiden bisher bekannten in ihrem Resultate höchst wichtige erhalten. F. Carlini [2] hat nämlich die Länge des einfachen Secundenpendels auf dem Mont-Cenis gemessen, und mit der durch Biot zu Bourdeaux gefundenen verglichen. Letzterer fand die corrigirte Länge des Decimalsecundenpendels unter $44^\circ\,50'\,25'' = 741\overset{\text{mill.}}{,}\,6151$, welches auf $45^\circ\,14'\,10''$ corrigirt $741\overset{\text{mil.}}{,}\,6421$ beträgt, und hiernach ist das Sexagesimalsecundenpendel am letzteren Orte $= 993\overset{\text{mil.}}{,}\,498$. Statt dessen fand Carlini dasselbe $= 993\overset{\text{mil.}}{,}\,708$. Die Differenz von 0,210 ist als Folge der Anziehung des Berges anzusehen. Letzterer be-

1 Phil. Trans. 1821. p. 282 u. 291. Journ. de Phys. XC. 307.

2 Effemeride di Milano. 1824. Append. p. 28.

steht aus Schiefer, Marmor und Gyps, deren spec. Gew. = 2,81; 2,86 und 2,32 im Mittel 2,66 für die Dichtigkeit des Berges im genäherten Werthe geben. Wird dann der Berg als ein sphärisches Segment betrachtet, dessen Höhe = 1 und der Durchmesser der Basis (von Susa nach Lanslebourg) = 11 ist, so ergiebt die Rechnung die Dichtigkeit der Erde = 4,39.

B. Dichtigkeit der Erde nach Versuchen mit der Drehwaage.

Wir haben nur eine Reihe solcher Versuche, welche unter die feinsten und schwierigsten im gesammten Gebiete der Naturlehre gehören. Die Idee hierzu hatte zuerst Michell[1], dessen Apparat an Hyde Wollaston kam, und von diesem an Cavendish, welcher ihn verbesserte und die bekannten Versuche damit anstellte. Diese hier vollständig zusammt der Methode der Berechnung mitzutheilen, würde zu viel Raum erfordern, und es möge daher nur so viel darüber gesagt werden, als hinreicht, um die Sache im Allgemeinen beurtheilen zu können, und die Erfordernisse zu würdigen, welche bei einer Wiederholung derselben zu berücksichtigen sind[2].

Michell's Apparat bestand ursprünglich aus einem möglichst dünnen hölzernen Stabe mit zwei Bleikugeln an seinen Enden, und im Schwerpuncte an einem feinen Metalldrahte aufgehangen. Durch die Elasticität dieses Drahtes muſs der Waagebalken an irgend einer Stelle frei schwebend zur Ruhe kommen, durch die Einwirkung einer höchst geringen Kraft auf die Kugeln am Ende desselben aber aus dieser Lage gezogen werden. Letzteres muſs namentlich geschehen durch einen anziehend auf dieselben wirkenden Körper, und wenn daher die Masse, Entfernung auf Dichtigkeit eines solchen gegebenen bekannt ist, so läſst sich aus der Stärke der Anziehung desselben, verglichen mit der auf die Kugeln gleichfalls wirkenden Schwere die Dichtigkeit der Erde als das die Anziehung durch die Schwere bewirkenden Körpers finden. Weil aber die geringste Kraft, nach Cavendish selbst 0,00000002 der Schwere, schon Schwingun-

---

1 Vergl. *Drehwaage* Th. II. S. 591.

2 Man findet sie vollständig in Phil. Trans. LXXXVIII. p. 469 und daraus mit schätzbaren Anmerkungen von Gilbert in dessen Ann. d. Ph. II. 1 ff.

gen der Drehwaage verursachen kann, so müssen alle störende Einflüsse möglichst vermieden werden, insbesondere ungleiche Temperatur, weil die hierdurch namentlich schon durch die Annäherung des Beobachters, entstehende Luftströmung in dem umschlieſsenden Kasten eine Bewegung hervorbringt. Aus dieser Ursache schloſs CAVENDISH seinen verbesserten Apparat in ein eigenes Zimmer ein, und beobachtete die Schwingungen durch angebrachte Fernröhre.

Die Waage selbst befand sich in einem Gehäuse von Mahagoniholz FEABCD.... welches durch vier Schrauben an hölzernen Pfeilern befestigt war, und sich horizontal stellen lieſs. An den Drähten hx hingen zwei Bleikugeln von 2 Zoll Durchmesser vor den Armen des Waagebalkens herab, welcher aus einem dünnen hölzernen Stabe hmh bestand, dessen Beugung bei groſser Feinheit durch den feinen Silberdraht hgh vermieden wurde. Ein feiner übersilberter Kupferdraht lgm trug diesen Waagebalken, und war selbst in den kleinen Klöbchen l und g festgeklemmt. Der obere Träger dieses Drahtes konnte von Auſsen durch den Draht KF vermittelst einer Schraube ohne Ende gedreht werden. Von einem Balken des Zimmers, HH hingen an einem Stifte p die kupfernen Stangen PrR herab, welche durch die Strebe rr auseinander gehalten wurden. An diesen waren unten die schweren Bleikugeln W, W befestigt, welche durch Umdrehen des Apparates um den Stift p vermittelst einer über die Scheibe MM und die Rolle m gehenden Schnur den kleineren Kugeln von beiden entgegengesetzten Seiten genähert werden konnten, wobei sie jedoch durch ein, zur Vermeidung jeder Erschütterung des Apparates eingemauertes Stück Holz gehindert wurden, näher als 0,2 Z. zu kommen. Die Lage des Armes wurde durch Verniere an seinen Enden angezeigt, welche dicht über einer elfenbeinenen Scale hinliefen, und da letztere in 20stel eines Zolles getheilt war, jener aber den fünften Theil hiervon angab, so konnte die Bewegung bis auf 0,01 Z. gemessen werden. Hierzu dienten die Einschnitte A, A im Gehäuse, beleuchtet durch die mit einer convexen Linse versehenen Leuchter L, L und beobachtet durch die Fernröhre T, T. Die eine Seite der Theilung nach ihrem Anfange hin nannte CAVENDISH die *negative*, die entgegengesetzte die *positive*, indem der Waagebalken auf dem ohngefähr in der Mitte liegenden 20sten Theilstriche in Ruhe stand.

Fig. 173.

Bei den Beobachtungen wurden die Bleimassen W, W den kleinen Kugeln x, x genähert, zogen diese letzteren an, und versetzten sie in Schwingungen. Um die Gröfse der Elongationen zu erhalten, beobachtete Cavendish die Grenze der ersten und dritten Schwingung an der einen Seite, und nahm das Mittel aus beiden als den Grenzpunct nach dieser Seite, welches mit dem Grenzpuncte der zweiten Schwingung verbunden den Punct der Ruhe gab, um hierdurch die allmälige Verzögerung der Oscillationen zu compensiren. Die Zeit der Schwingungen erhält man bei so langsamen Oscillationen leicht, wenn man das Zeitinterval zwischen zwei weit von einander liegenden Coincidenzen der Theilstriche ohngefähr in der Mitte der Schwingungen mifst, und dieses durch die Zahl der Schwingungen zwischen beiden Beobachtungen dividirt.

Der versilberte Kupferdraht, an welchem der Waagebalken hing, war 39,25 Z. lang, wog 2,4 Grains, und war so wenig steif, dafs die Kugeln beim Oscilliren der Waage an die Seiten des Gehäuses anschlugen. Cavendish stellte daher nur einige Versuche hiermit an, wobei er die kugelförmigen Bleimassen W, W während der Schwingungen aus der positiven in die negative Lage brachte, obgleich dieses die Beobachtungen erschwerte. Aufserdem bemerkte er einen Einflufs der Temperatur dieser Kugeln, welchen er durch einige Versuche genauer prüfte, deren Erörterung nicht hierher gehört. Im Ganzen stellte Cavendish vom 5ten Aug. 1797 bis 23sten Mai 1798 siebenzehn Versuche an, aus denen er die Dichtigkeit der Erde berechnete. Hierbei wird vorausgesetzt, dafs, wenn die Kraft, welche den Arm des Waagebalkens seitwärts zieht, sich zum Gewichte der Bleikugeln verhält, wie der Bogen A, um welchen dieser Arm vermöge der Elasticität des Drahtes zur Seite gezogen wird, zum Radius, dieser Arm mit einem eben so langen Pendel gleichzeitig schwingen mufs. Die Länge dieses Hebelarmes vom Mittelpuncte der Drehung an gerechnet, betrug 36,65 Z. und die Länge des Secundenpendels 39,14 Z.[1], folglich müfste sich bei einer der angegebenen Bedingung entsprechenden Anziehung die Schwingungszeit wie $\sqrt{36,65} : \sqrt{39,14}$ verhalten. Dauert die Vibration also N Secunden, so verhält sich die Kraft, welche erfordert wird, den Arm um einen Bogen

1 Nach den neuesten Versuchen 39,13926 Z. S. oben II. C.

A seitwärts zu ziehen, zum Gewichte der daran hängenden Kugel, wie der Bogen A. $\frac{1}{N^2} \cdot \frac{36,65}{39,14}$ zum Radius. Die elfenbeinene Scale war 38,3 Z. vom Mittelpuncte der Drehung entfernt, und der Zoll in 20 Theile getheilt, und sonach betrug ein Theil des Bogens $\frac{1}{766}$ des Radius, und es verhielt sich daher die Kraft, welche den Arm um einen Theil seitwärts zog, zum Gewichte der Kugel wie $\frac{1}{766\,N^2} \times \frac{36,65}{39,14} : 1$

oder wie $\frac{1}{818\,N^2} : 1$. Die Mittelpuncte der 8 Z. im Durchmesser haltenden genäherten Bleikugeln und der 2 Z. haltenden am Waagebalken waren 8,85 Z. von einander entfernt, wenn die ersteren dem Gehäuse genähert wurden, letztere sich in der Mitte desselben befanden. Durch eine fehlerhafte Einrichtung des Apparats war aber nicht dafür gesorgt, daſs der Perpendikel aus dem Mittelpuncte der groſsen Kugeln auf den Waagebalken in das Centrum der kleinen Kugeln fiel, weil die Kupferstangen nur 36,65 Z. von einander abstanden, und eine die Mittelpuncte der gröſseren Kugeln verbindende Linie mit der Axe des Waagebalkens einen Winkel bildete, dessen Sinus 8,85 Z. betrug, weswegen die Anziehung derselben im Verhältniſs von

$\text{Cos.}^3 \tfrac{1}{2}\ \text{ang. Sin.}\ \frac{8,85}{36,65} : 1$ d. i. von $0,9779 : 1$ verringert werden muſste.

Das Gewicht jeder Bleimasse betrug 2439000 Grains, und gleicht somit dem Gewichte von 10,64 sphärischen Cubikfuſs[1] Wasser. Wenn dann die Kraft der Anziehung dieser Bleimassen auf die Bleikugeln am Ende des Waagebalkens in die Mitte der ersteren gesetzt, dabei das Newtonsche Gesetz der Anziehung angenommen wird, ferner die Anziehung der Bleimasse

---

1 Der bei den Engländern gebräuchliche Ausdruck sphärischer Cub. F. od. Z. bezeichnet eine Kugel von 1 F. od. 1 Z. Durchmesser, also $\frac{\pi}{6}$ Cub. F. Wasser. Gilbert a. a. O. zeigt, daſs das Gewicht eines Cubikzolles Wasser = 253,35 Grains nach Kirwan gerechnet ist. Der Radius einer solchen, hier angenommenen Wasserkugel beträgt also die in der Berechnung vorkommenden 6 Z.

in der Entfernung von 8,85 Z. auf die Bleikugeln $=A$; die Anziehung einer Wasserkugel von 1 F. Durchmesser auf sie, wenn sie sich auf ihrer Oberfläche befänden $=B$; die Anziehung der Erde auf sie unter gleicher Bedingung $=C$ heifst, so verhält sich mit Rücksicht auf den schiefen Zug

$$A:B = 10,64 \times 0,9779 \left(\frac{6}{8,85}\right)^2 : 1.$$

Der mittlere Durchmesser der Erde wird $= 41800000$ F. angenommen[1] und wenn ihre Dichtigkeit gegen die des Wassers $= D:1$ heifst, so verhalten sich die Anziehungen der Bleimasse zu der der Erde

$$A:C = 10,64 \times 0,9779 \left(\frac{6}{8,85}\right)^2 : 41800000\,D$$
$$= 1 : 8739000\,D.$$

Es ist aber oben dargethan, dafs eine auf die Bleikugeln wirkende Kraft, welche den Hebelarm um einen Theilstrich der Scale aus seiner natürlichen Lage zu ziehen vermag, $\frac{1}{818\,N^2}$ vom Gewichte der Kugeln betragen mufs, und da die Anziehung der Bleimasse auf die Kugel $\frac{1}{8739000\,D}$ vom Gewichte der letzteren beträgt, so wird diese Anziehung den Waagebalken um $\frac{818\,N^2}{8739000\,D}$ oder $\frac{N^2}{10683\,D}$ Theilungen aus dem Stande seiner Ruhe ziehen. Werden also die Bleigewichte aus einer auf die Mitte des Waagebalkens lothrechten Richtung den Enden desselben bis zum genannten Abstande genähert, und es findet sich, dafs hierdurch dieses Ende um B Theilungen, oder wenn man die Massen abwechselnd an die positive und negative Seite rückt, dafs es um 2 B Theilungen abweicht, so mufs $B = \frac{N^2}{10683\,D}$ also $D = \frac{N^2}{10683\,B}$ seyn, woraus also D oder die Dichtigkeit der Erde gefunden wird.

---

1 Aus einer Revision dieser Gröfse nach den neuesten Messungen kann keine merkliche Aenderung der erhaltenen Resultate hervorgehen, wie schon aus der oben unter A geschehenen Substitution folgt.

Diese Formel bedarf indefs noch einiger Correctionen[1]. Diese sind:

1. Wegen des Widerstandes, welchen der Waagebalken vermöge seiner Masse der Bewegung entgegensetzt, indem ein Theil der Kraft der Bleimassen auf die Erzeugung der letzteren verwandt wird. Jeder Arm des Waagebalkens bildete eine abgekürzte Pyramide, indem nach der Darstellung seines Querschnittes die Höhe seiner Theile A B und D E überall gleich war, die Breite B b aber von der Mitte nach den Enden hin abnahm, so dafs der Querschnitt dort 0,33, hier 0,146 Quadratzoll betrug. Die Länge desselben von D bis d war 73,3 Z. und wog bei dem meistens herrschenden feuchten Wetter 2400 Gran. Man darf ihn hiernach als ein Prisma ansehen, dessen Grundfläche das arithmetische Mittel der gröfsten und kleinsten Durchschnittsfläche, also $\frac{0,33+0,146}{2}=0,238$ ist. Diesemnach wog ein Zoll desselben in der Mitte $\frac{2400}{73,3}\times\frac{0,33}{0,238}$, an den Enden $\frac{2400}{73,3}\times\frac{0,146}{0,238}$ Grains. Nimmt man ferner irgend einen Punct X an, setzt $\frac{cX}{cd}=x$ und berücksichtigt, dafs von c bis d der Querschnitt um $0,33-0,146$ also um 0,184 Quadratzoll, folglich bei X um $\frac{cX}{cd}\times 0,184=0,184x$ abnimmt, so ist das Gewicht bei X hiernach $\frac{2400}{73,3}\times\frac{0,33-0,184x}{0,238}=\frac{3320-1848x}{73,3}$ Grains. Der Silberdraht D C d wog 170 Grains, folglich 1 Z. $\frac{170}{73,3}$ und der Waagebalken mit diesem zusammen im Puncte X, $\frac{3490-1848x}{73,3}$, also eine Länge von d x Zollen $\frac{3490-1848x}{73,3}dx$ Grains. Die Kräfte, welche erforderlich sind, um gleiche Massen in X und in d gleich stark in beschleunigte Bewegung zu setzen verhalten, sich wie $(cX)^2:(cd)^2$ d. i. wie $x^2:1$, mithin

Fig. 174.

Fig. 175.

---

1 Wegen der Wichtigkeit dieser und ähnlicher, künftig vielleicht noch anzustellender Versuche übergehe ich diese nicht, benutze vielmehr der Deutlichkeit wegen noch einige Erläuterungen von Gilbert a. a. O.

ist die zur Bewegung des Elementes dx erforderliche Kraft $= x^2 dx \left(\frac{3490 - 1848 x}{73,3}\right)$ welches x = 1 gesetzt, oder für den ganzen Arm $\left(\frac{3490}{3} - \frac{1848}{4}\right)$: 73,3 also 350 Grains beträgt. Wird dann das Messingstück bei C als unbedeutend vernachlässigt, das Gewicht des elfenbeinenen Vernier's mit seinem Stabe de, welches 47 grains wiegt, 38 Z. vom Mittelpuncte der Drehung absteht, und also im Puncte d einem Gewichte von 48 Grains gleichkommt, hinzugenommen, so ist das Gewicht der ganzen zu bewegenden Masse 11262 + 350 + 48 = 11660 Grains. Bei einer gegebenen Schwingungszeit muſs also die bewegende Kraft im Verhältnisse von 11660 : 11262 = 1,0353 : 1 gröſser werden, als sie für einen Arm ohne Gewicht seyn würde.

2. Die Bleimassen ziehen nicht bloſs die Bleikugeln, sondern auch den Arm des Waagebalkens an. Um die hierfür erforderliche Correction zu finden denke man sich durch den Mittelpunct der Kugel b eine verticale Ebene dbw gelegt, welche senkrecht auf den Arm Dd steht, und in welcher sich in w die eine der Bleimassen befindet. (Die kleine Abweichung des Apparates von dieser Voraussetzung kann unbedenklich vernachlässigt werden). Es war aber die horizontale Linie dw = 8,85 Z. die verticale db = 5,5 Z. Heiſst dann wd = a; wb = b cd = l und wird x wie oben genommen, so ist $1 - x = \frac{dx}{dc} = z$, folglich dx = lz. Es verhalten sich aber die Anziehungen, welche die Bleimasse auf gleiche Massen in x und in b ausübt, umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen b und wx bei senkrechtem Zuge, und, da die Richtung in einem Winkel, dessen Sinus $= \frac{b}{wX}$ ist, statt findet, wie $b^2 . \frac{b}{wX} : (wX)^2$, also wie $b^3 : (wX)^3$ d. i. wie $b^3 : (a^2 + z^2 l^2)^{\frac{3}{2}}$. Die Kraft also, womit der Arm vermöge dieser Anziehungen gedrehet wird, verhält sich wie $b^3 (1 - z) : (a^2 + l^2 z^2)^{\frac{3}{2}}$ und diese drehenden Kräfte sind gleich, wenn die Masse in b derjenige Theil der Masse in X ist, welchen der Bruch $\frac{b^3 (1 - z)}{(a^2 + l^2 z^2)^{\frac{3}{2}}}$ angiebt.

Fig. 175.

Es wog aber, wie oben gezeigt ist, ein Element des Armes im Puncte X der Berechnung nach $\frac{3490 - 1848\,x}{73,3}\,dx$ $= \frac{1642 + 1848\,z}{73,3}.\,dz$ Grains. Folglich ist die Kraft, womit jede Hälfte des Armes durch die Anziehung der Bleimasse bewegt wird, gleich der, womit eine mathematische Linie gedrehet wird, an deren Ende in b sich eine Masse befindet $= \int \frac{b^3\,(1 - z)}{(a^2 + l^2\,z^2)^{\frac{3}{2}}} \times \frac{1642 + 1848\,z}{73,3}.\;l.\,dz$. Es ist aber die halbe Länge des Hebelarmes $l = \frac{73,3}{2}$, wonach der zweite Factor des Integrals $= (821 + 924.\,z).\,dz$ wird. Hiernach ist das ganze Integral $= b^3 \int \frac{821.\,dz + 103\,z.\,dz - 924\,z^2.\,dz}{(a^2 + l^2\,z^2)^{\frac{3}{2}}}$

Wird hierin statt des letzten Theiles des Zählers gesetzt $+ 924\,\frac{a^2}{l^2}.\,dz - 924\left(\frac{a^2}{l^2} + z^2\right).\,dz$ und für $\frac{a^2}{l^2} = 0,08$ substituirt, so ist das Integral

$$b^3 \int \left(\frac{895.\,dz + 103\,z.\,dz}{(a^2 + l^2\,z^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{924.\,dz}{l^2\,(a^2 + l^2\,z^2)^{\frac{1}{2}}} \right).$$

welches integrirt giebt:

$$\frac{895.\,b^3.\,z}{a^2\,(a^2 + l^2\,z^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{103\,b^3}{l^2\,(a^2 + l^2\,z^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{103\,b^3}{l^2\,a}$$

$$- \frac{924\,b^3}{l^3}\,\log.\,\frac{l\,z + (a^2 + l^2\,z^2)^{\frac{1}{2}}}{a}$$

Wird hierin $z = 1$ angenommen, so erhält man die in b gezogene Masse $= 128$ Grains. Nimmt man hiezu das Endstück de mit dem Vernier, dessen Gewicht 47 Grains, und in b also $= \frac{b^3}{a^3} \times 47 = 29$ Grains beträgt, so ist die ganze Kraft, womit jede der Bleimassen den ihr nächsten Arm der Waage zu bewegen strebt, gleich einer auf b wirkenden von 157 Grains, folglich nur $\frac{157}{11260} = 0,0139$ derjenigen, womit sie die Bleikugel zur Seite zieht. Ihre Anziehung auf die andere Hälfte des Waagebalkens ist dieser entgegengesetzt, aber so unbedentend, daſs sie füglich vernachlässigt werden kann.

3. Jede Bleimasse wirkt zugleich auch auf die Bleikugel am entfernteren Arme. Diese Anziehung verhält sich zu der auf die nächste Kugel wie $(wd)^3 : (wD)^3$ welches $= 0{,}0017 : 1$ ist. Daher ist das Verhältniſs der Anziehung der Bleimasse auf beide Kugeln zu der auf die nächste $= 0{,}9983 : 1$.

Fig. 176. 4. Auch die Kupferstangen wirken anziehend auf die Bleikugeln. Um diese Anziehung zu berechnen, sey w der Mittelpunct der Bleimasse, b der Mittelpunkt der Kugel am Arme, e a das senkrechte Stück der Kupferstange, welches aus zwei Theilen a d und d e besteht. Hiervon hat a d eine Länge von 16 Z., ist in w ohngefähr in zwei gleiche Theile getheilt, und wiegt 22000 Grains; der Theil d e dagegen ist 46 Z. lang und wiegt 41000 Grains; endlich ist $wb = 8{,}85$ Z. und auf e w senkrecht. Nach dem Gesetze der Anziehung, welche den Massen directe und der Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportional ist, wirkt ein Element des Körpers e w, dessen Masse $= dx$ ist, auf den Punct b mit einer Kraft, welche $= \frac{dx}{(bx)^2}$ ist. Von dieser wirkt nach der mit w b parallelen Richtung x f der Theil $\frac{wb}{bx}$, weswegen die Anziehung des Elementes dx nach der Richtung $wb = \frac{dx}{(bx)^2} \times \frac{wb}{bx}$ ist, und diejenige, welche das ganze Stück wx nach der Richtung wb auf den Punct b ausübt, (Fig. 177.)

$$= \int \frac{wb \,.\, dx}{(bx)^3} = \int \frac{wb \,.\, dx}{((wb)^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{x}{wb\,(wb^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$= \frac{x}{wb \,.\, bx}$. Wäre die ganze Masse des Stückes x im Puncte w vereinigt, so wäre dessen Anziehung auf den Punct b der Gröſse $\frac{x}{(bw)^2}$ proportional, folglich verhält sich die erstere Anziehung zur letzteren wie $\frac{1}{bx} : \frac{1}{wb}$. Auf gleiche Weise verhält sich die Anziehung, welche eine überall gleich dicke Stange e w auf einen Punct b in der Richtung b w ausübt, zu der einer gleichen Masse in w, wie $\frac{1}{eb} : \frac{1}{wb} = \frac{wb}{eb}$. Hiernach ist, (Fig. 176.) wenn die Wirkung beider Theile der Stange in w vereinigt ge-

dacht wird, die Anziehung des Theiles da gleich der Anziehung einer Masse von $\frac{22000 . wb}{db} = 16300$ Grains, und die des Theiles ed gleich der Anziehung einer Masse von

$41000 \frac{ew}{ed} . \frac{bw}{be} - 41000 \frac{dw}{ed} . \frac{bw}{bd} = 2500$ Grains, mithin verhält sich die Anziehung der Kupferatange zu der des daran hängenden Bleigewichtes wie 18800 : 2439000 oder wie 0,00771 : 1. Auch hierbei ist die Anziehung der schiefliegenden Kupferstange und des hölzernen Querbalkens zu unbedeutend, als daſs sie dürfte berücksichtigt werden, noch weniger aber ist dieses rücksichtlich der lothrechten Kupferstange auf die Kugel am andern Arme des Waagebalkens erforderlich.

5. Auch das Mahagoni-Gehäuse übt eine Anziehung auf die Bleikugeln aus, welche sich gegenseitig aufhebt, wenn dieselben in der Mitte zwischen seinen Wänden sind, und ihr Maximum erreicht, wenn sie am stärksten zur Seite gezogen werden. Aber auch in diesem Falle ist sie so unbedeutend, daſs sie nach einer ausführlichen Berechnung von Cavendish nicht mehr als $\frac{1}{1170}$ der Bleimassen beträgt, und daher füglich vernachlässigt werden kann.

Es folgt aus den unter No. 2, 3 und 4 erhaltenen Werthen, daſs die Kraft der Anziehung, welche die Bleimassen auf die Kugeln ausüben, nach den Verhältnissen von 0,9983 + 0,0139 + 0,0077 : 1 also von 1,0199 : 1 vermehrt werden müsse, um sie genau zu erhalten, wonach also die oben angegebene Gröſse $\frac{1}{8739000 . D}$ in $\frac{1,0199}{8739000 . D}$ verwandelt werden muſs. Aus No. 1. aber folgt, daſs die auf den Hebelarm wirkende Kraft wegen der zu bewegenden Masse desselben im Verhältnisse von 1,035 : 1 gröſser seyn muſs, als wenn er eine mathematische Linie wäre, wonach also $\frac{B}{818 . N^2}$ in $\frac{1,035\, B}{818 . N^2}$ zu verwandeln ist, wonach denn endlich

$$\frac{1,0199}{8739000 . D} = \frac{1,035 . B}{818 . N^2}$$

$$\text{und } D = \frac{N^2}{10844 . B}$$

die zum Auffinden der Dichtigkeit der Erde geeignete Formel ist [1].

6. Es ist indeſs endlich noch diejenige Correction zu untersuchen, welche aus der veränderlichen Lage der Bleikugeln gegen die Bleimassen entsteht. Die Entfernung beider beträgt nämlich nur dann 8,85 Z., wenn die Axe des Waagebalkens auf dem 20sten Theilstriche steht, wird aber kleiner oder gröſser, wenn die Bleikugeln sich den Bleimassen nähern oder beim Oscilliren des Waagebalkens sich weiter entfernen. Auſserdem befinden sich die Bleimassen nicht allezeit in der nämlichen Lage gegen die Bleikugeln, sondern nähern und entfernen sich abwechselnd beim Drehen der kupfernen Stangen. Es sey demnach W der Mittelpunct einer der Bleimassen in ihrer Lage zunächst am Gehäuse, M das Centrum der nächsten Bleikugel, wenn der Zeiger auf dem 20sten Theilstriche steht; B der Punct der Ruhe des Armes, wenn die Bleimasse auf die Kugel anziehend wirkt, und A dieser Punct, wenn die Bleimasse durch Drehung des Apparates entfernt ist, mithin AB der Bogen, um welchen der Arm durch die Anziehung der Bleimasse seitwärts gedrehet wird. Endlich sey Z der Bogen, um welchen der Arm seitwärts gezogen würde, wenn auf ihn die Anziehung in B gerade so stark wirkte, als in M. Sie wirkt aber in B stärker als in M, und zwar im Verhältnisse von $(WM)^2 : (WB)^2$, und so muſs also auch $AB = Z . \frac{(WM)^2}{(WB)^2}$ seyn, oder da $WB^2 = (WM - MB)^2$ ist, in eine Reihe entwickelt und mit Weglassung der höheren Potenzen ist $AB = Z . \left(1 + \frac{2MB}{MW}\right)$.

Fig. 178.

Wird die Bleimasse an die entgegengesetzte Seite gedrehet, so daſs w und b eine ähnliche Bezeichnung geben, so ist $Ab = Z . \left(1 + \frac{2Mb}{Mw}\right)$. Also ist

$$Bb = Z . \left(2 + \frac{2Mb}{Mw} + \frac{2MB}{MW}\right) = 2Z . \left(1 + \frac{Bb}{MW}\right),$$

so daſs die ganze Bewegung des Armes, nämlich Bb, nach dem

1 Daſs hierin, wie oben, N die Zahl der Secunden einer Vibration, B aber die Zahl der Theilstriche bezeichnet, um welche der Waagebalken sogleich durch die Anziehung der Bleimassen vom Ruhepuncte abseitwärts gezogen wurde, versteht sich von selbst.

Verhältnisse von $1 + \frac{Bb}{MW} : 1$ grösser ist, als wenn die Anziehung überall der in M gleich wäre. Die Lage des Armes hat daher auf die Correction in der Bewegung des Ruhepunctes wegen der Veränderlichkeit der Anziehung keinen merklichen Einfluss, sondern allein der Bogen Bb, um welchen der Arm sich drehet, wenn man die Gewichte aus einer Stelle zunächst am Gehäuse in die entgegengesetzte bringt.

Diese Veränderlichkeit der Anziehung durch die Bleimassen hat auf die *Schwingungszeit* Einfluss. Es sey daher das Centrum der einen dieser Bleimassen in W, das Centrum der Bleikugel in irgend einem Puncte des Schwingungsbogens in x, und A nebst B mögen die obere Bedeutung beibehalten, ferner stelle AB die Kraft vor, womit der Arm, wenn er in B ist, durch die Elasticität des Drahtes nach A zurückgetrieben wird (folglich auch die Anziehung der Bleimassen, welche im Puncte der Ruhe B der Drehkraft des Drahtes genau gleich ist) und Ax die Kraft, womit der Arm im Puncte x vom Drahte nach A zurückgebracht wird, so ist die Anziehung, welche die Bleimassen auf die Bleikugeln im Puncte x ausüben $= AB\,\frac{WB^2}{Wx^2}$, folglich die Kraft, womit der Arm im Puncte x nach A getrieben wird $= Ax - \frac{AB \, . \, WB^2}{Wx^2}$. Wird hierin $\frac{WB^2}{Wx^2}$ $= \left(1 + \frac{Bx}{Wx}\right)^2$ gesetzt, für dieses aber durch eine Entwickelung in eine Reihe mit Weglassung der höheren Potenzen $1 + \frac{2Bx}{Wx}$ gesetzt, und für Wx bei unmerklichem Unterschiede WB genommen, so erhält man sehr nahe

$AB + Bx - AB\left(1 + \frac{2Bx}{WB}\right)$ welches gleich ist

$Bx - \frac{2Bx. \, AB}{WB}$. Wäre die Anziehung der Bleimassen für jede Lage des Armes so groß als im Puncte der Ruhe B, so würde die Kraft, womit der Arm aus dem Puncte x nach dem Puncte B strebt, dem Bogen Bx proportional seyn[1]. Weil

Fig. 178.

[1] Vergl. *Elasticität* oben S. 195.

aber die Anziehung bei abnehmender Entfernung zunimmt, so ist diese Kraft kleiner, und nur dem Bogen $Bx - \frac{2Bx.AB}{WB}$ proportional. Die beschleunigenden Kräfte also, welche den Arm bei veränderlicher und unveränderlicher Anziehung durch die Bleimassen treiben, verhalten sich daher zu einander, wie $Bx - \frac{2Bx.AB}{WB} : Bx$ oder wie $1 - \frac{2AB}{WB} : 1$. Da sich aber die Schwingungszeiten gleich langer Pendel verkehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften verhalten, so müssen die Schwingungszeiten bei veränderlicher und unveränderlicher Anziehung durch die Bleimassen sich verhalten wie $1 : \left(1 - \frac{2AB}{WB}\right)^{\frac{1}{2}}$, oder aber das Quadrat der Schwingungszeiten ist in jenem Falle größer als in diesem im Verhältniß von $1 : 1 - \frac{2AB}{WB}$, welches Verhältniß nur wenig von $1 + \frac{Bb}{MW} : 1$ verschieden ist, in welchem die Bewegung des Armes vergrößert wird, wenn man die Bleimassen von der einen Seite des Gehäuses an die entgegengesetzte drehet. Wenn aber der Arm sich um eine Einheit der Skalentheilung drehet, so bewegt sich der Mittelpunct der Kugel um $\frac{36,65}{20 \times 38,3}$ Z. seitwärts, folglich wenn der Arm um einen Bogen $= AB = \frac{1}{2} Bb$ zur Seite gezogen wird, welcher d Theile begreift, wonach also
$\frac{\frac{1}{2}Bb}{MW} = \frac{36,65 . d}{20 \times 38,3 \times 8,85} = \frac{d}{185}$ Zolle beträgt[1], so muſs die Schwingungszeit und die Bewegung des Armes auf folgende Weise verbessert werden.

a. Ist die *Schwingungszeit* durch einen Versuch bestimmt worden, in welchem die Gewichte an der einen oder andern Seite des Gehäuses sich befanden, und hat sich der Arm um d Eintheilungen der Scale bewegt, indem man die Bleimassen

1 Der Abstand des Centrums der Bleikugeln vom Drehungspuncte des Waagebalkens beträgt 36,65 Z., der Abstand der Scale von eben diesem Puncte 38,3 Z., ein Zoll derselben ist in 20 Theile getheilt, und der Abstand der Mittelpuncte der Bleimassen und Bleikugeln im Zustande der Ruhe beträgt 8,85 Z. Dieses sind die in der Formel enthaltenen Gröſsen.

aus dieser Lage in die auf die Mitte des Waagebalkens lothrechte brachte, so muſs die beobachtete Schwingungszeit *vermindert* werden, und zwar im Verhältnisse von $\left(1 - \frac{2\,d}{185}\right)^2 : 1$, welches nahe gleich ist $1 - \frac{d}{185} : 1$. Ist dagegen die Schwingungszeit bestimmt worden, als die Bleimassen auf die Mitte des Waagebalkens lothrecht gerichtet waren, so ist gar keine Verbesserung nöthig.

b. Um für die *Bewegung* des Armes die erforderliche Verbesserung zu finden, wenn die Bleimassen aus der dem Gehäuse genäherten Lage in die mittlere gedrehet werden, oder umgekehrt, so beobachte man in der positiven oder negativen Lage der Bleigewichte den Abstand des Armes vom 20sten Theilstriche. Er betrage n Theile. Es ist aber (oben unter 6 i. A.) gezeigt, daſs für die aus der veränderlichen Nähe der Bleigewichte erforderliche Correction der Bogen

$AB = Z\left(1 + \frac{2\,MB}{MW}\right) = Z\left(1 + \frac{2\,n}{185}\right)$, also

$AB : Z = 1 + \frac{2\,n}{185} : 1$ oder nahe $= 1 : 1 - \frac{2\,n}{185}$ ist. Man findet daher aus dem beobachteten Bogen AB bei veränderlicher Anziehung den Bogen Z bei unveränderlicher Anziehung, indem man, wenn B näher als M nach der Bleimasse hinliegt, von AB den $\frac{2\,n}{185}$sten Theil abzieht; wenn aber B weiter als M von der Bleimasse entfernt liegt, so ist BM, d. i. n negativ, und es muſs daher der $\frac{2\,n}{185}$ste Theil zugesetzt werden. Dieses giebt also die allgemeine Regel. *Man beobachte in der positiven oder negativen Lage der Bleigewichte*[1] *den Abstand des Armes vom 20sten Theilstriche, nenne, von hier an gerechnet, die Menge der Theilstriche* n, *und vermehre die beobachtete Bewegung um* $\frac{2\,n}{185}$*stel des Ganzen, wenn der Abstand nach der Seite der Bleimassen hinliegt, vermindere sie dagegen um*

---

1 Es ist oben bei der Beschreibung des Apparates angegeben, daſs CAVENDISH diejenige Seite die *negative* nannte, welche nach dem Anfange der Theilstriche hinliegt.

den $\frac{2n}{185}$*sten Theil, wenn derselbe nach der entgegengesetzten hinliegt.*

c. Werden endlich die Bleimassen aus der positiven Lage der gröfsten Nähe in die negative gedrehet oder umgekehrt, und der Arm bewegt sich dabei um 2 d Theile seitwärts, so ist dann nach der oben gegebenen Demonstration

$$Bb = 2Z.\left(1 + \frac{Bb}{MW}\right) = 2Z\left(1 + \frac{2d}{185}\right), \text{ mithin}$$

$$Bb : 2Z = 1 + \frac{2d}{185} : 1 \text{ oder nahe } = 1 : 1 - \frac{2d}{185}.$$ *In diesem Falle ist also die beobachtete Bewegung um den* $\frac{2d}{185}$*sten Theil zu vermindern.*

Es möge nur der Deutlichkeit wegen hinzugesetzt werden, dafs von den angegebenen Correctionen die unter a zu der Gröfse N in der Formel, die unter b und c aber zu der Gröfse B ebendaselbst gehören. Werden endlich die Bleimassen aus einer Lage des Genähertseyns in die entgegengesetzte gedrehet, und bestimmt man die Schwingungszeit während sie sich in einer derselben befinden, so ist keine Verbesserung weder der Schwingungszeit noch der Bewegung nöthig, weil sich dann die Correctionen aufheben.

Die mit dem beschriebenen Apparate angestellten und nach den angegebenen Formeln berechneten 17 Versuche stellt Cavendish in einer tabellarischen Uebersicht zusammen, welche hier mitzutheilen mir überflüssig scheint. Zehn dieser Versuche sind ohnehin doppelt, insofern die Beobachtungen in zwei verschiedenen Lagen der Bleigewichte angestellt wurden und einer ist dreifach, indem die Bleigewichte aus der Mitte und dann von beiden entgegengesetzten Seiten den Kugeln genähert wurden. Im Ganzen erhielt also Cavendish 29 Bestimmungen für die Dichtigkeit der Erde, wovon die 6 ersten mit einem dünnen, die übrigen mit einem dickeren Drahte erhalten wurden. Das Mittel aus jenen giebt die Dichtigkeit der Erde nach Cavendish = 5,48 mal gröfser als des Wassers, das Mittel aus allen übrigen beträgt genau ebensoviel. Die gröfste Abweichung der Extreme soll dann 0,75, also die Abweichung der

einzelnen Werthe vom Mittel nur 0,38 betragen, also nicht über $\frac{1}{14}$ des Ganzen.

Hier tritt indeſs der merkwürdige Umstand ein, daſs in den so leichten Angaben dieser Mittelwerthe sich bedeutende Rechnungsfehler finden. Ehe ich diese indeſs erörtere, will ich zuerst das Urtheil angeben, welches Cavendish selbst darüber gefället hat.

Zuvörderst findet er die Abweichungen sowohl in der Bewegung des Armes als auch in den Schwingungszeiten (die nicht constanten Gröſsen B und N in der Formel) in den einzelnen Versuchen zu groſs, als daſs sie von Beobachtungsfehlern herrühren könnten. Die Gröſse der Bewegung des Hebelarmes könnte allerdings durch Luftströmungen verändert seyn, welche als Folge ungleicher Temperatur anzusehen wären, allein wie dadurch auch die Schwingungszeiten afficirt werden konnten, ist nicht abzusehen, wenn man nicht eine merkliche Ungleichförmigkeit dieser Strömungen annehmen will. Daſs indeſs hieraus und aus sonstigen unbekannten Ursachen ein constanter Fehler erwachsen seyn sollte, ist auf keine Weise anzunehmen, da die Versuche während einer sehr langen Zeit und unter den vielfachsten Bedingungen der Temperatur, Feuchtigkeit u. s. w. angestellt wurden. Cavendish wirft auch die Frage auf, ob wohl das angenommene Newtonsche Gesetz der Anziehung hierbei allein als wirksam zu betrachten sey, und nicht auch ein anderes, welches die Erscheinungen der Cohäsion oder Adhäsion bewirkt. Allein hierzu kamen die Massen nicht nahe genug, und auſserdem gaben diejenigen Versuche keine abweichende Resultate, in denen sie einander absichtlich sehr genähert wurden. Hiernach, meint er also, könne die gefundene Dichtigkeit der Erde = 5,48 nicht füglich um mehr als $\frac{1}{14}$ unrichtig seyn, doch weiche diese Bestimmung von der durch Hutton gefundenen = 4,5 mehr ab, als er erwartet habe. Welche von beiden Bestimmungen die richtigere sey, wage er nicht eher zu entscheiden, als bis er die möglichen Einflüsse auf seine Versuche genauer geprüft habe.

Eine genaue Prüfung beider Versuchsreichen, nämlich der durch Hutton und der durch Cavendish angestellten, ist überall noch nicht vorgenommen, und beide Resultate, näm-

nämlich 4,713 nach der Revision von Playfair und 5,48 nach Cavendish weichen um mehr als $\frac{1}{6}$ des mittleren Ganzen von einander ab, wenn man etwa 5 als diesen mittleren Werth ansehen wollte, und dieses ist allerdings mehr, als man von so ausnehmend genauen Versuchen erwarten sollte. Rücksichtlich auf Hutton's Versuche muſs allerdings in Anschlag gebracht werden, daſs der gelehrte und scharfsinnige Playfair sie einer abermaligen Prüfung unterworfen hat, welcher Fehler in den Berechnungen gewiſs entdeckt haben würde, auch hat von Zach [1] die von Maskelyne nicht mit in Rechnung genommenen astronomischen Beobachtungen gleichfalls berechnet, und ganz den nämlichen Abweichungswinkel des Bleilothes gefunden, als welcher aus den übrigen gefolgert ist, so daſs also von dieser Seite jene Versuchsreihe unerschütterlich feststeht. Hutton hat selbst seine Arbeit im hohen Alter nochmals revidirt [2], und gezeigt, daſs Maskelyne Beobachtungsfehler von einer ganzen Secunde im Bogen gemacht haben müſste, wenn das erhaltene Resultat dem durch Cavendish gefundenen gleich kommen sollte. Dabei ist er zwar geneigt, 5,00 als mittlere Dichtigkeit der Erde anzusehen, um die beiden gefundenen Werthe einander mehr zu nähern, allein hiermit ist offenbar dem Wahrheitsforscher nicht gedient, um so mehr als aus der oben von mir vorgenommenen Substitution des aus den neuesten Messungen folgenden genauesten Werthes für die Gröſse der Erde in die Formel der Berechnung die durch Hutton erhaltene Gröſse noch um eine Kleinigkeit geringer wird, indem hier nach $D = 4{,}71143$ ist.

Auf der andern Seite hat Cavendish eine vollständige Beschreibung seines Apparates, der damit angestellten Versuche und der Berechnungen derselben mitgetheilt, sie liegen vor Jedermanns Augen und Gilbert hat dieses alles bei seiner Bearbeitung genau geprüft, mit Ausnahme der letzten Zusammenrechnung, indem ihm sonst die oben schon erwähnten Fehler aufgefallen seyn müſsten. Die gröſste Abweichung der einzelnen Resultate von einander beträgt nämlich nicht 0,75 wie

1 L'Attraction des Montagnes cet. Avignon 1814. II. 690.
2 Phil. Trans. 1821. 276.

Cavendish angiebt, sondern 5,85 — 4,88 = 0,97, die Abweichungen dieser beiden Extreme von dem gleichfalls angegebenen Mittel aus allen erhaltenen Resultaten betragen aber 0,60 und 0,37. Allein auch das durch Cavendish angegebene Mittel ist unrichtig, und beträgt nur 5,447... nahe 5,448, man erhält indeſs genau 5,48, wenn man das eine erhaltene Resultat, nämlich 4,88 in 5,88 verwandelt, in welchem Falle indeſs die Differenz der Extreme = 0,78 und die Abweichungen derselben vom arithmetischen Mittel + 0,37 und — 0,41 betragen. Man würde indeſs Cavendish Unrecht thun, wenn man von diesen Fehlern auf seine ganze Arbeit schlieſsen wollte, denn ohne Zweifel ist die Zahl 4,88 ein bloſser Druckfehler statt 5,88. Es ist indeſs rührend zu lesen, daſs Hutton in seinem 84sten Jahre noch die Mühe übernahm, die ganze weitläuftige und schwierige Berechnung zu revidiren [1], wodurch er dann eine nicht unbedeutende Menge von Rechnungsfehlern auffand [2]. Nach dieser neuen Berechnung ist dann das Mittel aus den 6 ersten, mit dem dünneren Drahte angestellten Experimenten 5,19, und aus den 23 lezten, mit dem dickeren Drahte 5,43. Daſs auch diese beiden Werthe nicht unbedeutend abweichen muſs das Vertrauen auf dieselben etwas schwächen. Nimmt man aus beiden das arithmetische Mittel, so ist dieses = 5,31, welches von der zuletzt durch Hutton angenommenen Gröſse um 0,31 also nahe $\frac{1}{17}$ des Ganzen abweicht. Hierdurch verschwindet zwar die Differenz zwischen beiden Versuchsreihen etwas mehr, allein der unparteiische Wahrheitsforscher muſs bekennen, daſs eine solche Näherung nur trüglich ist. Man darf nämlich, ohne sich von der strengen Wahrheit zu entfer-

1 Phil. Tr. a. a. O. p. 286. I could derive no confidence in the results, nor compare them with the mountain experiment, without repeating the whole of the calculations. But, after a long life spent in allmost daily abstruse investigations, from the tenth year of my age, and now being at eighty-four, and oppressed with distressing illness, I thought I might be excused from such a task. But .... my anxiety to accomplish the business induced me to make an exertion to effect it myself.

2 Cavendish hat, wie Hutton berichtet, diese Berechnungen mindestens gröſstentheils, nicht selbst angestellt, deren bloſse Revision letzterer nicht mit Unrecht so severe an operation nennt.

nen, das durch HUTTON gefundene Resultat um so weniger abändern, und höher als 4,71143 annehmen, je genauer und allseitiger die Prüfung desselben bisher angestellt ist, und ebenso folgt aus den Versuchen von CAVENDISH kein anderes Resultat als 5,32, nachdem dessen Versuche und Rechnungen auf gleiche Weise revidirt sind. Die Differenz bleibt also = 0,59 oder nahe $\frac{1}{8}$ des Ganzen, und um so viel bleibt also unsere Kenntnifs von der mittleren Dichtigkeit der Erde ungewifs, sobald wir beiden Versuchsreichen einen gleichen Werth zugestehen.

Je schmerzlicher es ist, über eine so wichtige Frage keine gröfsere Gewifsheit zu haben, und je geringer die Hoffnung, solche kostbare und schwierige Versuche zur Beantwortung derselben noch einmal angestellt zu sehen, um so lebhafter mufs der Wunsch seyn, über den Werth der bereits vorhandenen mit mehr Zuversicht zu entscheiden. Gegen die von HUTTON und MASKELYNE kann nur eine einzige Einwendung stattfinden, nämlich die Unbestimmtheit der Dichtigkeit des Berges. Es wäre nämlich möglich, dafs unter den untersuchten Felsarten noch andere von gröfserem spec. Gew. z. B. basaltische lägen, allein nach allen Resultaten, welche die vielfachen und genauen geognostischen Untersuchungen bisher geliefert haben, ist dieses höchst unwahrscheinlich, und wollte man auch wegen gröfserer Nässe und der Wirkung des Druckes der oberen Schichten auf die unteren das spec. Gew. der Felsarten etwas höher annehmen, so würde dadurch die mittlere Dichtigkeit der Erde nicht füglich höher als in runder Zahl = 4,72 anzunehmen seyn. Gegen die Versuche von CAVENDISH läfst sich dagegen vieles einwenden. HUTTON bemerkt, dafs ein so feiner und zusammengesetzter Apparat an sich keine absolute Genauigkeit geben könne, indefs begreift man doch nicht, wie hieraus irgend ein constanter Fehler entstehen konnte, und dann müfsten sich die Differenzen der zahlreichen einzelnen Resultate durchaus gegenseitig aufheben. Inzwischen könnte ein solcher allerdings aus der mitgetheilten Erschütterung entstehen, welche an bewohnten Orten stets stattfindet, hierdurch würden die Schwingungsbogen vergröfsert und die Schwingungszeiten verkleinert werden, also gäbe dieses allerdings einen constanten Fehler, wodurch das Resultat im Allgemeinen vergröfsert wird. Wir haben aber nach CAVENDISH's Berichte Ursache, etwas

dieser Art anzunehmen, da der Apparat aller angewandten Vorsicht ungeachtet selten eine Stunde stillstand[1]. Ferner hatte Cavendish anfangs eiserne Träger der Gewichte, statt der nachher gebrauchten kupfernen, welche aber nach vorläufigen Versuchen den Arm um 1 bis 1,5 Theilungen anzogen, statt dafs sie ihn vermöge ihrer Masse der Berechnung nach nur um 0,2 anziehen sollten. Diese 5 bis 7,5 fach gröfsere Wirkung schrieb Cavendish dem Magnetismus zu, und vertauschte daher die eisernen Stangen mit kupfernen, allein auch hierbei *blieb etwas von der bemerkten Einwirkung zurück, nur weniger regelmäfsig*[2], welches aber nicht weiter beachtet wurde. Kupfer ist nie völlig frei von Eisen, und Coulombs Versuche haben erwiesen, dafs alle mit stählernen Werkzeugen gearbeitete Körper eine geringe magnetische Einwirkung zeigen, weswegen es möglich ist, diese Erscheinung jener Ursache beizumessen. Wenn nun aber nicht blofs diese Stangen, sondern ebensowohl auch die Bleikugeln einen gröfseren Einflufs der Anziehung gezeigt hätten, als sie der Berechnung nach äufsern mufsten, so entstand auch hieraus ein constanter, die Resultate sämmtlich *vergröfsernder* Einflufs. Irgend eine, das Gegentheil bewirkende, die Resultate daher *verkleinernde* Ursache kann ich meinerseits nicht auffinden, und es müssen sonach diese Versuche, so schätzbar sie übrigens sind, an ihrer Beweiskraft nothwendig verlieren. *Wir dürfen daher vor der Hand, und bis andere Versuche den Gegenstand mehr aufklären*[3], *die*

---

1 Phil. Tr. LXXXVIII. 474.... notwithstanding the pains taken to prevent any disturbing force, the arm will seldom remain perfectly at rest for an hour together.

2 Ebend. S. 479. there still seemed to be some effect of the same kind, but more irregular, so that I attributed it to some accidental cause, and therefore hung on the leaden weights, and proceeded with the experiments. Es bleibt immer fraglich, ob nicht der Magnetismus dennoch einen so feinen und sonst nicht bemerkbaren Einflufs hatte. Arago's neueste magnetischen Versuche könnten auf so etwas hindeuten.

3 Für solche Versuche erlaube ich mir unmafsgeblich vorzuschlagen den Apparat etwas abzuändern, und insbesondere die Erschütterung zu vermeiden, welche aus der Drehung der Gewichte auch bei gröfster Festigkeit der Wände des Zimmers entstehen mufste, aufserdem aber das ganze Verfahren zu vereinfachen. Zur Erreichung dieses Zweckes scheint es mir am besten, die Bleigewichte an einem

mittlere Dichtigkeit der Erde so annehmen, wie sie aus den genau berechneten Versuchen von Maskelyne *und* Hutton *folgt, nämlich* = 4,72. Hierfür entscheidet vorzüglich das noch kleinere Resultat, welches nach der oben angeführten Angabe Carlini aus seinen Pendelmessungen erhalten hat, desgleichen dafs La Place[1] vermittelst seiner scharfsinnigen Berechnungen die Dichtigkeit des Erdkerns = 4,761 findet, wenn die der äufseren Rinde = 3 gesetzt wird, da man den letzteren Werth als der Wahrheit sehr nahe kommend ansehen kann.

V. Temperatur der Erde.

Dieser Gegenstand macht wohl ohne Widerrede den

Drahte, dessen Gewicht vernachlässigt werden könnte, so aufzuhängen, dafs ihre Mittelpuncte mit den Mittelpuncten der am Waagebalken unmittelbar befestigten Bleikugeln im Zustande der Ruhe desselben in eine horizontale Linie fielen, dann die Schwingungen des Waagebalkens zuerst ohne die Bleimassen, und demnächst bei unveränderter Temperatur und gleichem Barometerstande nach genäherten Bleimassen zu messen. Indem die letzteren dann vermöge ihrer Anziehung die Dauer der Oscillationen verkürzen, so liefse sich aus dem Unterschiede der Schwingungszeiten und Schwingungsbogen die Stärke der Anziehung der Bleimassen, und hieraus die Dichtigkeit der Erde berechnen, wenn man anders dagegen völlig gesichert ist, dafs aufser der Massen-Anziehung nicht noch eine andere, eine magnetische oder elektrische einwirkt. Eine allgemeine Methode zur Berechnung der aus solchen Versuchen erhaltenen Resultate von H. W. Brandes findet man in Voigt's Mag. XII. 300.

1 Méc. Cél. T. V. p. 46. M. G. Drobisch in: de vera Lunae figura cet. Leipzig 1826. p. 48. schlägt vor, aus der Ungleichheit der Pendelschwingungen in tiefen Gruben die zunehmende Dichtigkeit der Erde zu finden. So zweckmäfsig auch dieses Mittel ist, so stehen der Anwendung desselben aufser den Schwierigkeiten solcher Versuche im Allgemeinen noch diese entgegen, dafs man bisher nur bis zu geringen Tiefen unter die Oberfläche des Meeres zu dringen vermochte (S. unten VI. B. i. A.), und die als Beispiel angenommene Tiefe von 1400 F., wobei nach Hutton's Bestimmungen der Dichtigkeit nur eine Differenz der täglichen Pendelschwingungen von 2″,6 statt findet, dürfte daher für solche Bedingungen schwerlich erreichbar seyn. Aufserdem aber müfste zugleich die so schwer bestimmbare negative Anziehung der oberhalb befindlichen Masse mit in Rechnung genommen werden, wenn man in einem Schachte eines hohen Berges sich zu solchen Versuchen herablassen wollte. Inzwischen läfst sich nicht voraus bestimmen, ob und wie weit diese Schwierigkeiten künftig noch überwunden werden können.

schwierigsten Theil der gesammten physikalischen Untersuchungen über die Erde aus, und gehört dahin zuerst die Temperatur des Erdkernes, dann der Erdkruste, ihrer Oberfläche und zuletzt der sie umgebenden Atmosphäre, sofern diese als integrirender Theil derselben von ihr unzertrennlich ist[1].

A. Temperatur der Erde im Innern derselben.

Da der Halbmesser der Erde fast 860 geographische Meilen beträgt, bishero aber noch niemanden gelungen ist, nur bis auf eine halbe Meile vom Spiegel des Meeres an in die Erde einzudringen, so begreift man leicht, daſs sich über den Kern der Erde nur weniges, und auf allen Fall die Beschaffenheit desselben auf keine Weise aus der Erfahrung bestimmen läſst. Inzwischen forderten die Erscheinungen der Vulcane und heiſsen Quellen zu einer Erklärung auf, und ohne zu überlegen, wie weit die Ursachen derselben vom Centro der Erde entfernt liegen mögen, schloſs man aus der Tiefe der vulcanischen Herde auf ein *Centralfeuer*, und machte sich von diesem verschiedene Vorstellungen. Die Annahme eines eigentlichen, im Centro der Erde brennenden Feuers findet man wohl nur bei einigen älteren Schriftstellern, indem schon Gassendi zeigte, daſs ein Brennen in einem eingeschlossenen Raume nicht statt finden könne. Die späteren Begriffe sind vorzüglich begründet durch Mairan, welcher unter Centralfeuer übrigens nicht sowohl ein eigentliches brennendes Feuer, als vielmehr eine innere Erwärmung verstand[2]. Weil die Wärme mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt, der Frost nie tief in die Erde dringt, das Meer in groſsen Tiefen ungefroren ist, und insbesondere zur Erklärung des Unterschiedes der Klimate schreibt er der Erde eine innere Wärme, eine *Grundwärme* zu, welche seines Berechnung nach 393 mal gröſser seyn soll als diejenige Wärme, welche die Sonne in Paris am kürzesten Tage hervorbringt. Die Verschiedenheit der Klimate leitet er von der ungleichen Er-

---

1 Wegen der unverhältniſsmäſsigen Länge, wozu der Artikel *Erde* anwachsen müſste, können in Beziehung auf die Wärme der Erde meistens nur die Hauptresultate angegeben werden, eine gründlichere Erörterung bleibt andern Artikeln, namentlich *Temperatur* und *Klima* vorbehalten.

2 Mém. de l'Ac. 1719. p. 124. Nouvelles recherches sur la cause générale du chaud en été et du froid en hiver cet. Par. 1768. 4.

härtung der Erdoberfläche durch die Sonnenwärme her, als die Erde noch flüssig war. Indem diese Festwerdung nämlich unter dem Aequator früher als an den Polen erfolgte, so konnte sich die Wärme dort nicht so sehr ausbreiten, als an den Polen.

Dieser letztere Theil von MAIRAN's Hypothese ist etwas seltsam. Uebrigens führten ihn die Beobachtungen der unveränderlichen Temperatur in tiefen Kellern auf die ganze Idee, indem dorthin weder Wärme noch Kälte von Aufsen zu dringen schien, und die vorhandene Temperatur daher als ein Residuum früherer Wärme erscheinen mufste. Der Zusatz einer Vermehrung derselben nach dem Innern des Erdballes hin war ohne Zweifel durch die vulcanischen Erscheinungen veranlafst, auch waren MAIRAN schon damals einige Beobachtungen vom Wachsen der Wärme in der Tiefe der Schachten bekannt, denen indefs BERGMANN[1] andere minder begründete Erfahrungen entgegensetzte.

BÜFFON's bekannte Hypothese ist sinnreich und mit grofser innerer Consequenz ersonnen, weswegen sie etwas modificirt noch jetzt Anhänger findet. Sie hängt mit seiner Erklärungsart der Bildung und allmäligen Veränderung der Erdoberfläche zusammen, und nimmt an, dals die Erde als ein von der Sonne durch einen Kometen abgestofsener Theil ursprünglich die Glühhitze gehabt habe, allmälig erkaltet sey, noch gegenwärtig aber im Centro eine der Glühhitze fast gleiche Temperatur behalten habe, in langen Perioden allmälig erkalte und zuletzt durch gänzliche Erstarrung unbewohnbar werden müsse. Die hierzu erforderlichen Zeitperioden nimmt er allerdings als sehr grofs an, und stützt sich hierbei auf Beobachtungen des Erkaltens gegebener glühender Massen; seine Ansicht von der Temperatur im Innern der Erde ist indefs blofs hypothetisch, und sein System verdient daher, als dem neuesten der Vulcanisten sehr nahe kommend, am gehörigen Orte erwähnt zu werden[2].

BÜFFON's Hypothese fand viele Anhänger, allein es ist merkwürdig, dafs man nachher zu fast völlig entgegengesetzten Vorstellungen überging. Dieses lag nicht sowohl in der Verbreitung der durch WERNER begründeten Theorie der Neptunisten, als vielmehr in der Behauptung einiger Seefahrer, wonach

1 Physische Beschreibung der Erdkugel. II. §. 141.

2 Vergl. Art. *Geologie*.

das Meer mit zunehmender Tiefe kälter werden, und am Boden gefroren seyn sollte[1]. Hiernach erschien der Erdball als ein erstarreter Eisklumpen, oder mindestens bis unter 0° C. erkaltet. Aepinus, und mit ihm mehrere andere nahmen an, die Erwärmung der Erde sey und werde bloſs durch die Sonnenstrahlen bewirkt, welche den Beobachtungen nach nicht tief eindringen können. Auſserdem zeigte die Erfahrung, daſs die äuſsere Erdrinde in der Tiefe von 50 bis 100 F. auf allen Fall eine der mittleren Temperatur der Oberfläche gleiche, ganz unveränderliche Wärme habe, das Interesse für die erörterte Hauptfrage erkaltete allmälig, und während man die Geognosie durch zahlreiche Erfahrungen erweiterte, und hiernach Hypothesen über die Bildung und allmälige Veränderung der Erdrinde ausdachte, lieſs man jene Untersuchungen ruhen.

Die Frage über die Temperatur im Innern der Erde kam indeſs abermals zur Sprache und aufs Neue in lebhafte Anregung durch einige Versuche, welche von Trebra in den Minen zu Freiberg anstellen lieſs, aus welchen eine mit der Tiefe zunehmende Erhöhung der Wärme folgte, obgleich schon früher ähnliche Beobachtungen gemacht, aber minder beachtet waren[2]. Wenn man die älteren und nicht hinlänglich genauen ausschlieſst, so ist v. Saussüre der erste, welcher auf diese Erscheinung aufmerksam machte[3]. Er fand in den Salinen von Bex in einer Tiefe von 332 F. 14°, 4 C.; von 564 F. 15°,6; und von 677 F. 17°,4, wobei zu bemerken ist, daſs dort keine metallische Substanzen vorhanden sind, und daſs damals seit 3 Monaten niemand in diese Tiefen gekommen war. D'Aubuisson[4], welcher diese Erfahrungen kannte, untersuchte die Sache in den Minen zu Freiberg, und erhielt in verschiedenen derselben folgende Resultate nach Graden der Centesimalscale.

---

1 Insbesondere stellte de la Metherie diesen Satz auf, und fand darin einen Gegenbeweis gegen die Annahme eines Centralfeuers. S. J. d. Ph. LX. 81.

2 Mon. Cor. IX. 349.

3 Voyages cet. §. 1088.

4 Traité de Géognosie, cet. II. Vol. 8. Strasburg 1819. I. 444. Vergl. Journ. des Mines. T. XIII.

Tiefen in Met.	Beschert Glück	Himmel-fahrt	Küh-schacht	Jung-Hohe-Birke
0	8	8	8	8
100	....	10	....	10
120	9,5	....	....	11
160	....	....	....	12,5
180	....	12,5	....	....
200	....	....	....	14
220	12,5	....	12,5	....
240	....	....	....	15
260	14,5	14,5	14	....
280	....	....	....	16
300	15,5	....	16	....
330	....	....	....	17

D'Aubuisson bemerkt dabei, daſs Freiberg unter 51° N. B. und 400^{m} über dem Spiegel des Meeres liegt. Die Beobachtungen wurden am Ende des Winters 1802 gemacht, in welchem das Thermometer bis — 18° C. sank. Zur Zeit der Beobachtungen stand das Thermometer auf — 3° bis 4° C., die mittlere Temperatur ist etwa 8° bis 9°, und an chemische Zersetzungen des überall todten Gesteines ist nicht zu denken. Die Wärme in 220 und 260 Metres Tiefe ist durch Wasser bestimmt, welches aus einer etwas gröſseren Höhe kam, und zeigte sich im Mai und im Januar gleich; stagnirendes Wasser in 260 Metres Tiefe war 15° warm. Aus allen seinen Versuchen schlieſst D'Aubuisson, daſs die Temperatur der Minen in Freiberg bei 300^{m} Tiefe die der Oberfläche um 8° übertrifft.

Die genannten Versuche veranlaſsten v. Trebra in den Jahren 1805 bis 1807 an den geeignetsten Orten in Freiberg Thermometer gegen Verletzung und anderweitige Einflüsse, auſser die örtliche Wärme, geschützt, aufhängen und genau beobachten zu lassen[1]. Das obere derselben zeigte stets 11°,87, das andere, 294 F. tiefer hängende 15° C. Wiederholte Beobachtungen an vier verschiedenen Orten, welche in einem Umfange von drei deutschen Meilen im Gneis-Gebirge von einander lagen, ergaben im Jahre 1815 in 55 F. Tiefe 8°,75 C. in 601 F. 12°,8; in 953 F. 15°; in 1348, 5 F. 18°,75, wonach auf 120 F. Tiefe 1° C. kommt, und also in einer Tiefe von et-

1 Geograph. Ephem. XLIX. 433. Journ. de Ph. LXII. 443. Vergl. D'Aubuisson a. a. O.

wa 52 Meilen schon die Schmelzhitze des Eisens anzutreffen wäre. Dabei zeigen sich nirgends Spuren von Schwefelkiesen oder sonstigen chemisch auf einander einwirkenden Stoffen in jenen Gebirgen[1], und es war daher natürlich, daſs diese auffallenden Erscheinungen die Aufmerksamkeit der Physiker erregen muſsten.

Seitdem sind die Versuche dieser Art sehr vermehrt, und man hat die Sache selbst an den verschiedensten Orten bestätigt gefunden. Mehrere Beobachtungen werden noch jetzt an sehr verschiedenen Orten angestellt, und müssen die Sache selbst demnächst mehr aufklären, jedoch ist es zugleich von unverkennbarem Nutzen, das bereits Geschehene in einer Uebersicht zusammengestellt mit künftigen Erfahrungen vergleichen zu können.

Gensanne[2] fand in den Minen von Giromagny bei Béfort in den Vogesen in 110 Met. Tiefe 12°,5 C. in 206 M. 13°,1; in 308 M. 19° und in 433 M. 22°,7. Thomas Lean[3] untersuchte in gleicher Absicht die Minen von Cornwallis, und erhielt zwei Reihen von Beobachtungen, wovon die erste mitten im Sommer, die zweite mitten im Winter angestellt wurde, welches wegen der abweichenden Resultate bemerkt werden muſs, indem diese in groſsen Tiefen billig nicht statt finden sollten.

1. Sommerbeob.			2. Winterbeob.		
5,5 Met.	—	18°,5 C.	5 Met.	—	11°,1 C.
91	—	29,5	91	—	17,2
146	—	20,0	183	—	19,0
295	—	21,7	293	—	21,1
329	—	22,7	329	—	23,3
348	—	26,1	366	—	25,5

1 Daſs verwitternde Schwefelkiese die Temperatur erhöhen können, fand d'Aubuisson in einer Mine bei Huelgoat in Bretagne; woselbst oben 11° in 230 Meter Tiefe aber 19°,7 herrschend, das Wasser aber vitriolisch war. S. Journ. des Mines. XXI. Ann. Ch. et Ph. XIII. 184.

2 Ann. Chim. et Ph. XIII. 184.

3 J. de Ph. LXXXVII. 1. Diese und noch einige Beobachtungen in englischen Minen. S. Ann. de Ch. et Ph. XIII. 200.

Forbes und Fox erhielten in Minen gleichfalls in Cornwallis auf etwa 36 F. Tiefe eine Zunahme von 1° C. bis zu einer Tiefe von 1400 F. herab, wonach das Wasser an der tiefsten Stelle eine Wärme von 26°,7 erreichte. Durch den Aufenthalt der Menschen daselbst und die Explosionen des Sprengpulvers, das Brennen der Lichter etc. wird dort allerdings Wärme erzeugt, aber diese ist nicht hinreichend, die höhere Temperatur zu erklären, und sie suchen die Ursache daher in einer natürlichen Erdwärme [1]. Auch Gay-Lussac folgert aus diesen Beobachtungen, dafs die Erscheinung nicht von chemischen Processen, namentlich von der Zersetzung der Schwefelkiese, abzuleiten sey, sondern von einer inneren Hitze der Erde [2].

Eben diese Beobachtungen aber sind durch Moyle sehr stark bestritten, welcher überhaupt die Hypothese einer höheren Wärme in gröfseren Tiefen verwirft, und dagegen zu beweisen sucht, dafs in tieferen und gegen Luftzug gesicherten Schachten die anhaltende Anwesenheit der Arbeiter und das Brennen der vielen Grubenlichter die Temperatur noch mehr erhöhen müsse, als die Erfahrung angäbe [3]. Sein Widerspruch hat indefs einen längeren Streit und eine fortgesetzte Untersuchung der Sache veranlafst. Vorerst zeigt Fox, dafs seine Beobachtungen nicht die Luft im Innern der Gruben und selbst nicht die Wände derselben betreffen, sondern das Wasser, was in einer Tiefe von 1440 F. hervorquellend die angegebene Wärme von 26°,7 zeige, und unmöglich durch die von Moyle angegebenen Ursachen diese Temperatur erhalten haben könne [4]. Aufserdem aber hat er seine Beobachtungen noch sehr vermehrt [5], gesteht zu, dafs man keine stets gleichmäfsige Vermehrung der Wärme erwarten könne, weil so viele bedingende Einflüsse nicht gut zu beseitigen sind; indefs gehen aus seinen Versuchen im Allgemeinen folgende Resultate hervor.

---

1 Phil. Mag. 1820. Oct.

2 Ann. Ch. Ph. XVI. 78.

3 Annals of Phil. 1822. Ap. p. 308.

4 Annals of Phil. 1822. Mai p. 381.

5 Ebend. Dec. p. 440. Vergl. Ann. Chim. et Ph. XXI. 310.

Tiefe in Fathoms	Temp. des Wassers	Temp. der Luft
20	14°,4 C.	13,3
40	13,3; 15,6; 12,2	13,9; 15,6
60	15,6; 16,7; 14,4	16,1; 16,7; 15,6
80	17,8; 16,7	18,3; 17,8
100	18,3	18,9
110	17,8; 18,9	18,3; 18,9
120	19,0; 18,9	20,0
130	22,2; 23,3; 17,2	22,7; 23,3; 16,7
140	25,5; 21,1	25,5; 22,2; 27,1; 23,8
150	24,4; 26,7	22,2; 26,7
160	18,9	22,8
170	18,0; 25,0; 28,9	18,9; 24,4
180	22,2; 20,5; 30	23,3; 22,2; 31,0.

Die hier angebenenen verschiedenen und unregelmäſsig wachsenden Temperaturen können das Vertrauen in die Genauigkeit der Beobachtungen nicht schwächen, vielmehr muſs man der Aufrichtigkeit des Referenten den gebührenden Beifall schenken. Das Wasser kann nämlich leicht entweder aus tieferen Quellen emporsteigen oder aus höheren herabsinken, und daher an dem nämlichen Orte eine sehr abweichende Wärme zeigen, und eben dieses kann bei der Luft der Fall seyn. Abstrahirt man aber von der gröſseren Wärme der Luft, welche allerdings durch die angegebenen Ursachen herbeigeführt seyn kann, so ist doch nicht abzusehen, woher das Wasser eine höhere Temperatur, als die der Quellen oder nahe die mittlere des Ortes ist, erhalten haben sollte, und die beobachteten 20 bis 30 Grade würden also ganz unerklärlich bleiben, wenn keine chemische Zersetzungen sie herbeigeführt hätten, welche aber nirgend bestimmt nachgewiesen sind. Fox legt daher einen vorzüglichen Werth auf die beobachteten Temperaturen der vereinigten Gruben-Wasser. Diese fand er in 100 bis 110 Fathoms = 18°,3 C.; in 110 bis 120 Fathoms = 19°,2 und in 150 bis 160 Fathoms = 23°,0. Indeſs setzt Moyle diesen Beobachtungen andere von ihm selbst gemachte entgegen, wonach die Temperatur in bearbeiteten Gruben nach den Wassern gemessen höher war als in unbearbeiteten, indem in den letzteren die mittlere Wärme der Oberfläche in allen Tiefen gleich gefunden wurde[1], und

1 Ann. of Phil. 1823. Jan. p. 43.

diese Ansichten theilt WALMORE nach Beobachtungen in den schwedischen Bergwerken[1]. Man sieht aber bald, dafs in den verlassenen Gruben das Wasser sich gesammelt hatte, wobei das kältere als spec. schwerer herabsank. Eben dieses ereignet sich bei der Luft, und erklärt MOYLE's Widerspruch zur Gnüge, ohne jene Thatsachen umzustofsen[2]. Eine gleichfalls beweisende Erscheinung zeigte sich, als in der Gegend von London für einen Brunnen eine 140 F. tiefe Thonschicht durchgraben wurde, und das reichlich quellende Wasser bleibend 12°,2 C. zeigte, ohngeachtet die dortige mittlere Temperatur nach LUKE HOWARD nur 9°,7 nach v. HUMBOLDT aber 10°,2 ist[3].

Aufser den Beobachtungen in Deutschland, England und Frankreich haben wir ähnliche aus andern Ländern. Unter die gehaltreichsten gehören diejenigen, welche FANTONETTI in den goldhaltigen Minen von Pestarena di Macugnana im Thale Anzasca anstellte[4]. Die tiefen Schachte liegen in einem Berge, welcher aus Gneis besteht, und gleichsam den Fufs des Monte-Moro bildet, woran der hohe Monte-Rosa grenzt. Die Schachte haben vier Abtheilungen, deren eine tiefer als die andere ist weswegen ein Schacht 500 Meters tief herabgeht, und die Luft freien Zutritt hat. Die Messung der Temperatur geschah im Winter und im Sommer, auch wurden die Thermometer so aufgehangen, dafs sie die Wärme der Felsen und auch des auf den Gallerieen sich sammelnden Wassers angaben.

1. Beobachtungen vom 13ten März, Temperatur im Freien =3°,8 C.

---

1 Stockholm. Denksch. 1821. Jan. Vergl. Archives des découvertes 1823. p. 81.

2 Eine Zusammenstellung dieser und anderer Beobachtungen in den englischen Minen findet sich in Trans. of the Geolog. Soc. T. II. Vergl. Ann. of Phil. VI. 441. Journ. de Ph. XCV. 307. Die neuesten Versuche von MOYLE in Ann. of Phil. N. LXIV. p. 259 entscheiden mehr *für* eine Zunahme der Temperatur als *gegen* dieselbe.

3 Ann. of Phil. N. S. IV. 441.

4 Brugnatelli Giornale cet. 1821. p. 467.

Tiefe	Wärme der Felsen	Wasser der Gallerie
0	— —	10°,3
50 Met.	. . . 5°,1	10,2
100 -	. . . 7,5	11,3
150 -	. . . 10,0	12,5
250 -	. . . 11,3	13,7
350 -	. . . 13,1	14,2
450 -	. . . 15,0	13,7
702 -	. . . 16,3	16,5

2. Eine ähnliche Reihe von Beobachtungen am 7ten Mai gab die Wärme der äufsern Luft = 12°,5 und in der Tiefe von 300 Meters an genau wie oben.

3. Am 6ten Aug. erhielt er bei einer äufseren Temperatur von 20°,0 C. in den Minen folgende Gröfsen:

Tiefe	Wärme der Felsen	Wasser der Gallerie
0	— —	12°,5
50 Met.	. . . 12,5	12,0
100 -	. . . 12,0	—
150 -	. . . 12,0	—
250 -	. . . 12,2	—
350 -	. . . 13,1	—
450 -	. . . 15,0	13,7
702 -	. . . 16,3	—

Man könnte gegen die Beweiskraft dieser Resultate ein Argument daraus hernehmen, dafs gerade das Wasser im Sommer sich kälter zeigte als im Winter, und daher die Temperatur der Tiefe von der Wärme des im Sommer herabgesunkenen Wassers ableiten; allein dann wäre unbegreiflich, wodurch die Temperatur der Tiefe sich so durchaus constant erhalten sollte. Vielmehr läfst sich nicht füglich etwas anderes annehmen, als dafs das Wasser von der mittleren Temperatur des Ortes, wie sie bei tiefern Quellen gewöhnlich ist, durch einen längeren Einflufs der wärmeren Felsen etwas erhöhet wird.

Auch v. Humboldt[1] fand in den Minen von Neuspanien zwischen 500 bis 770 F. 23°,7 bis 27°,6; in 1540 F. Tiefe aber 33°,8 C. In einer anderen Grube zeigte das Thermometer oben 20°,8, in einer Tiefe von 582 F. aber 33°,7; in denen von Villalpando oben 22°,4 und in 412 F. Tiefe 29°,4. Die Zahl der

1 Ann. de Ch. et Ph. XIII. 184.

gemachten Beobachtungen könnte leicht noch vermehrt werden, wenn dieses erforderlich wäre.

Werden diese und andere ähnliche, der Kürze wegen übergangene Beobachtungen einer vorurtheilsfreien Prüfung unterworfen, so beweisen sie keineswegs directe, eine bedeutend höhere oder gar eine der Schmelzhitze des Eisens nahe kommende Wärme des *eigentlichen Erdkernes*, denn sie bleiben zu sehr in der äufseren Oberfläche, als dafs sie zu einem solchen Schlusse berechtigen sollten. Rücksichtlich der eigentlichen Hauptfrage, nämlich über die Wärme des Erdkernes bleiben wir fortwährend im Gebiete der wahrscheinlichen Vermuthungen oder gänzlicher Ungewifsheit. Was sie aber bestimmt beweisen, ist dennoch deswegen nichts weniger als unwichtig, denn es geht aus ihnen klar hervor, dafs die Erdrinde in einer Tiefe, welche in Gemäfsheit der zunächst (unter B) folgenden Untersuchungen dem Einflusse der äufseren Erwärmungen nicht mehr ausgesetzt ist, eine höhere Temperatur hat, als die äufsere Kruste selbst. Dieser Satz wird aufserdem noch durch einige unwidersprechliche Thatsachen mindestens im hohen Grade wahrscheinlich. Hierhin könnte man die vulcanischen Thätigkeiten rechnen, allein es ist streitig, woher diese ihren Ursprung haben, indem die dabei herrschende grofse Hitze unter der oberen Erdrinde auch durch locale Zersetzungen entstehen kann. Etwas beweisender sind die heifsen Quellen, denn obgleich das Wasser derselben vielleicht über vulcanischen Herden erwärmt wird, einige Geologen auch geneigt sind, die Wärme derselben dem unmittelbaren Einflusse chemischer Zersetzungen beizumessen (welche Hypothese jedoch gar vieles wider sich hat), so beweisen sie doch eine im Innern der Urgebirge existirende, seit Jahrtausenden unerschöpfliche Wärmequelle [1]. Auch die gemeinen Quellen tieferen Ursprunges sind mindestens in nördlicheren Gegenden etwas wärmer als die mittlere Temperatur der Oerter, wo sie entspringen. Inzwischen beruhet dieses Argument auf nicht völlig sicheren Thatsachen, und würde für sich allein keine bedeutende Beweiskraft haben. Weit mehr ist dieses der Fall bei demjenigen, welches auf der Erfahrung beruhet, dafs das Eis der Gletscher von unten her allmälig verzehrt wird.

---

1 Vergl. *Quellen*, *Temperatur derselben.*

Auf dieses Phänomen haben schon de Lüc[1], de Saussüre[2] u. a. aufmerksam gemacht, und dasselbe aus einer stets zuströmenden Erdwärme erklärt. Wäre eine solche nicht vorhanden, so hätte durch die Jahrhunderte, ja sogar Jahrtausende hindurch einwirkende Eiskälte die Erdrinde längst bis zur Temperatur des Eises herabsinken und erstarret seyn müssen[3].

Obgleich also aus diesen Thatsachen unverkennbar hervorgeht, daſs die Erdrinde in einer Tiefe, bis wohin die äuſseren bedingenden Einflüsse der Temperatur nicht dringen, eine höhere, und also von der Erde selbst ausgehende, Wärme besitze, so folgt doch hieraus keineswegs, daſs diese weiter nach Innen zunehme, noch weniger daſs sie nach einer aus den Beobachtungen folgenden Progression wachse, vielmehr könnten die angegebenen Erfahrungen sogar mit einem gänzlichen Erstarrtseyn des Erdkernes sehr gut bestehen, wenn man voraussetzen wollte, daſs einen solchen tief erkälteten Erdkern eine wärmere Kruste umgäbe, welche wir in den aufgegrabenen Schachten erreichen. Zugleich ist es indeſs weder unmöglich, noch auch irgend einer Thatsache widersprechend, der eigentlichen Erdmasse von der Tiefe einer oder etlicher Meilen an eine Glühhitze beizulegen, welche die des schmelzenden Eisens noch übertreffen könnte, vielmehr würde eine solche Hypothese manche Erscheinungen, namentlich die vulcanischen, sehr gut zu erklären geeignet seyn. Auf allen Fall ist es aber vergeblich, auf die angegebenen Beobachtungen ein Gesetz der Wärmezunahme nach dem Centrum der Erde hin zu gründen[4], indem wegen des Einflusses örtlicher Bedingungen die verschiedenen Versuchsreihen so sehr abweichende Resultate gaben, daſs ich die auf diesem Wege erhaltenen Werthe für eine Mittheilung nicht einmal für geeignet halte. Ueberhaupt sind alle jene Beobachtungen, ihres sonstigen Werthes ungeachtet, nur als unvollkommene Versuche zu betrachten, welche mehr geeignet sind die eigentlichen Schwierigkeiten aufzudecken, als die Hauptfrage selbst zu entscheiden. Letzteres beruhet offenbar auf folgenden Bedingungen.

---

1 Recherch. sur l'Atmos. II. 327. Lettres phys. et mor. I. 140.

2 Voyages cet. §. 533.

3 Vergl. J. A. de Lüc d. j. in Bibl. univ. XVIII. 40.

4 Auſser den oben mitgetheilten Angaben von v. Trebra und anderen glaubt J. A. de Lüc d. j. a. a. O. daſs in 6000 F. Tiefe 50° C. mittlere Temperatur sey.

Fig. 179. Es sey ab eine die Oberfläche der Erde berührende Linie, $\alpha\beta$ eine mit ihr parallel laufende, in welcher die jener zukommende Temperatur $= x$ zu $x + dx$ vermehrt seyn mag. Die Linie cde bezeichne die Krümmung eines Berges, und $\gamma\delta\varepsilon$ eine dieser gleichfalls parallele, die Grenze der angegebenen Temperaturvermehrung bezeichnende, so läfst sich zuvörderst fragen, ob in der Wirklichkeit die letztere Linie mit der ersteren eine gleiche Krümmung habe. Bei den Versuchen ist dieses ohne weiteren Beweis angenommen, oder vielmehr man hat die Frage selbst gar nicht aufgeworfen, indem man die lothrechte Tiefe angegeben hat, ohne zu berücksichtigen, dafs z. B. eine Messung von f bis g ein ganz anderes Resultat geben mufs, als von d bis δ. Ueberhaupt aber kann diese Aufgabe nie vollständig durch die Erfahrung entschieden werden, weil wir in der Regel im Niveau des Meeres oder nur wenig über demselben mehrere Hunderte von Fufsen in die Erde zu dringen nicht vermögen; man kann sie daher nur durch die Vergleichung der Messungen an verschiedenen ungleichen Orten der Entscheidung nahe bringen, und auch dieses ist mit grofsen Schwierigkeiten verbunden.

Obgleich hiernach die Frage über die Temperatur des Erdkernes unentschieden bleibt, so giebt es doch zwei Hypothesen hierüber[1], welche wegen ihres Zusammenhanges mit den vulcanischen Erscheinungen eine Erwähnung verdienen. Nach Humphry Davy nämlich entstehen die Erscheinungen der feuerspeienden Berge dadurch, dafs die nicht oxydirten metallischen Theile, welche die eigentliche Erdmasse oder eine tiefere Schicht derselben ausmachen, hauptsächlich durch die Zersezzung des Wassers oxydirt werden, und hierdurch, wie z. B. Kalium bei seiner Zusammenkunft mit Wasser heftig verbrennen[2]. Diese Hypothese läfst es unentschieden, welche Temperatur diese Stoffe vor ihrer Oxydirung haben, indem diese eben sowohl eine sehr hohe als eine sehr niedere seyn kann. Sie beantwortet also die Frage über die Temperatur des Erdkernes gar nicht, läfst aber schliefsen, dafs die höhere Wärme in

1 Prechtl's Hypothese in Jahrb. des polyt. Inst. III. 1, welcher die höhere Wärme im Innern der Erde vom Drucke ableitet, wird weiter unten angegeben werden.

2 Vergl. *Vulcane*.

gröfseren Tiefen noch ein Ueberbleibsel derjenigen ist, welche in früheren Zeiten erzeugt wurde, als diese Schichten sich säuerten, also früher sehr allgemein verbreiteter vulcanischer Processe.

Die zweite Hypothese, eigentlich die erneuerte Büffon's, ist von Fourier, einem Gelehrten, welcher sich lange Zeit vorzugsweise mit den Untersuchungen über die Erscheinungen der Wärme beschäftigt, die allgemeinen Gesetze ihres Verhaltens aufgesucht, unter gewisse Formeln gebracht, und dabei viele Beweise einer ungewöhnlichen Fertigkeit im analytischen Calcüle gegeben hat[1]. Nach ihm wurde die Erde von einer Hitze, welche die des weifsglühenden Eisens noch wohl um vieles übertraf, in einen tief unter dem Eispuncte kalten Raum versetzt, und erkaltete in diesem viele Jahrhunderte hindurch allmälig, bis sie in den gegenwärtigen stationären Zustand gekommen ist[2]. Nach seinen analytischen Untersuchungen ist es leicht erweislich, dafs das Erkalten der Erde wegen der Gröfse der Masse nur langsam erfolgen konnte, und so gut wie jetzt die Wirkung der Sonnenstrahlen die äufsere Kruste nicht durchdringt, kann auch die innere Wärme nicht nach Aufsen kommen. Aus den Beobachtungen folgert Fourier eine Zunahme der Wärme von 1° C. für eine Tiefe von etwa 30 Met., welche dem Einflusse der Sonnenstrahlen nicht beizumessen ist, sondern von der ursprünglichen Glühhitze der Masse herrührt. Gegenwärtig schreitet ihre Wärmeabnahme so langsam fort, dafs sie in 30,000 Jahren noch nicht um die Hälfte ihrer mittleren Wärme abnehmen kann, und die Verminderung daher seit der Schule von Alexandrien bis jetzt noch nicht $\frac{1}{300}$stel Grad C. beträgt. Obgleich ferner die mit der Tiefe zunehmende höhere Temperatur mit der Theorie genau übereinstimmt, so folgt nach Fourier doch nicht, dafs die Erde im Centro ihr Maximum der Wärme habe, vielmehr nimmt sie wieder ab, nachdem sie in der Tiefe von etlichen Myriametern den Punct der Weifsglühhitze erreicht hat. Die innere Erdwärme ändert sich stets,

---

1 Sein Hauptwerk ist Théorie analytique de la Chaleur. À Paris 1824. 4. An dieses schliefsen sich die verschiedenen späteren Abhandlungen an.

2 Extrait d'un Mém. sur le Refroidissement séculaire du Globe terrestre; in Ann. Ch. et Ph. XIII. 418.

obgleich in sehr langen Zeiträumen, und ohne dafs hieraus eine Veränderung der Klimate folgt, weil die Oberfläche einmal in den Zustand der Stabilität gekommen ist. Aus seinen Berechnungen folgert Fourier übrigens, dafs die aus dem Innern der Erde während eines Jahrhunderts dringende Wärme so viel beträgt, als einen Eiscylinder von der Basis der gegebenen Fläche und 3 Metres Höhe zu schmelzen vermag[1].

Läfst man sich durch den tiefgelehrten Calcül, in welchen Fourier die hier mitgetheilten Sätze verwebt, und aus welchem er sie gleichsam als Folgerungen ableitet, nicht blenden, so gelangt man bald zu der Ueberzeugung, dafs hier weit mehr behauptet wird, als die Prämissen zu folgern gestatten. Fourier hat sich zwar das grofse Verdienst erworben, die Verbreitung der Wärme in Körpern von verschiedener Gestalt, desgleichen die Ausströmung derselben aus diesen mit Rücksicht auf die Beschaffenheit ihrer Oberfläche auf bestimmte Gesetze zurückzubringen, welche zum Theil auf gleiche Resultate führen als diejenigen sind, welche Newton und die Physiker nach ihm auf einem weit einfacheren Wege erhielten, allein hieraus folgt keineswegs, dafs man diesemnach von einem gegebenen Körper, z. B. der Erde, wissen könne ob sie früher eine höhere Temperatur gehabt habe, und wie grofs diese gewesen sey. Wäre dieses Letztere auf einem anderen Wege gefunden, liefse sich namentlich nachweisen, dafs die Erde ursprünglich die Glühhitze gehabt habe, dann liefse sich aus den aufgefundenen Gesetzen allerdings bestimmen, wie viele Jahre erfordert wurden, bis sie die jetzige Temperatur ihrer Oberfläche erhielt, obgleich der Geologe auch hiergegen noch manche gegründete Zweifel erheben würde. Namentlich kann die nicht unbeträchtliche Wassermenge der Erde den Zustand der Glühhitze der festen Theile unmöglich getheilt haben, und dann bleibt sowohl die ursprüngliche Quantität dieses Wassers als auch seine Temperatur durchaus ungewifs, und würde der Versuch einer genauen Berechnung der Erkaltungszeit auf allen Fall eine grofse Menge willkürlicher Hypothesen erfordern. Fourier nimmt an, dafs die Wärme in einer Tiefe von 30 Meters um 1° C.

---

1 Diese Resultate aus einer ausführlichen Abhandlung findet man zusammengestellt in Ann. Ch. et Ph. XXVII. 136 ff.

wachse[1]. Allein die mitgetheilten Beobachtungen ergeben, dafs diese Bestimmung nur eine genäherte ist. Es ist ferner nichts weiter als Hypothese, wenn man annimmt, dafs die Wärme in diesem Verhältnifs nach Innen stets zunehme, woraus dann folgen würde, dafs, den Schmelzpunct des Gufseisens[2] zu 1532° R. oder lieber zu 1600° R. also zu 2000° C. angenommen, die Erde in einer Tiefe von 60000 Meters oder 184706 F. oder 48,5 geographischen Meilen schon diese Hitze habe. Aus den oben erwähnten Beobachtungen v. Trebra's soll dieser Punct in einer Tiefe von 52 Meilen liegen, wahrscheinlich weil dieser der Schmelzpunct des Eisens nach älteren Angaben höher setzt. Gegen die Möglichkeit einer solchen Hitze ist zwar nichts einzuwenden, die Voraussetzung einer vom Puncte der gröfsten Hitze nach dem Centrum hin wieder abnehmenden Wärme ist dagegen blofs hypothetisch, und darf daher vorläufig ganz unbeachtet bleiben. Das Endresultat aller mühsamen Untersuchungen ist daher kein anderes, als dafs wir die Temperatur des Erdkernes keineswegs mit Zuversicht kennen, wohl aber aus Wahrscheinlichkeitsgründen sie als sehr hoch und der Glühhitze des schmelzenden Eisens gleichkommend oder sie noch übertreffend annehmen, jedoch kann sie nicht so grofs seyn, um die Bestandtheile der Erde in Dampfform zu erhalten. Dagegen ist La Place durch seine scharfsinnigen Untersuchungen zu einem höchst schätzbaren Resultate gelangt. Weil nämlich eine Vermehrung oder Verminderung der mittleren Erdwärme nothwendig eine Veränderung ihres Volumens, und somit auch ihrer Rotation herbeiführen würde, welche aber nicht beobachtet ist, so läfst sich hiernach mit Sicherheit schliefsen, dafs diese mittlere Temperatur gegenwärtig stationär seyn mufs. Der Berechnung nach würde nämlich eine Verminderung der mittleren Erdwärme von nur 1° C. eine Verminderung der Rotation von zwei Centesimalsecunden herbeiführen. Indem letztere aber seit Hipparch's Zeiten noch um kein 0,01 Sec. verändert ist, so kann die mittlere Erdwärme gleichfalls keine Veränderung erlitten haben[3].

---

1 Nach La Place Méc. Cél. V. 19. gehört diese Differenz zu 32 Meters.

2 Journ. of Sc. XXII. 309.

3 Ann. Chim. et Ph. XI. 36. Vergl. XIII. 410. XIV. 315. Méc.

B. Temperatur der Erdrinde.

Die Wärme der Erdrinde wird bedingt durch den *Einfluſs der Sonnenstrahlen*, der *unteren Schichten* und *der Luft*. Ist daher, wie es hier billig seyn muſs, die Rede bloſs von einer so dicken Schicht, als wohin diese Einflüsse dringen, so folgt von selbst, daſs der äuſsere Theil derselben einem jährlichen, monatlichen und täglichen Wechsel ausgesetzt seyn muſs, während der innere mehr constant bleibt. Einen bedeutenden Einfluſs hat insbesondere das Regen- und Schneewasser, welches in Tiefen von 3 bis 6 Fuſs einen gröſseren und schnelleren Wechsel hervorbringt, als die Strahlen der Sonne. Indem aber das wärmere Wasser der Sommerregen, oft noch erwärmt durch die Hitze des Bodens, mit dem Schneewasser des Winters gemischt herabsinkt, so erhält die Erdrinde etwa 20 bis 30 F. unter der Oberfläche eine der mittleren des Ortes gleichkommende unveränderliche Wärme, welche eben deswegen aus tieferen Quellen gefunden werden kann. Diese Unveränderlichkeit der Temperatur fand man zuerst durch Beobachtungen im Keller unter der Sternwarte in Paris, und Martine[1] schrieb daher der Erde eine eigene Wärme zu, unabhängig, von der durch die Sonnenstrahlen erzeugten. Mairan[2] war gleicher Meinung, und suchte durch Versuche und Rechnungen zu beweisen, daſs von den 1026° R. Wärme, welche in Paris in einem Sommer erzeugt würden, 991°,98 von der Erde und nur 34,02 durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht würden. J. Hunter[3] dagegen folgerte aus der constanten, durch den Einfluſs der nahen Oberfläche modificirten Temperatur der Quellen auf Jamaica, daſs die Temperatur der Erde im Ganzen das durch Wärmeleitung bedingte Mittel zwischen der im Sommer erzeugten Hitze und der Kälte des Winters sey.

Wenn wir zuvor von einzelnen örtlichen Ausnahmen abstrahiren, wodurch die mittlere Temperatur der verschiedenen Oerter zuweilen modificirt wird, so läſst sich nach zahlreichen Beobachtungen allerdings die Behauptung aufstellen, daſs in

---

cél. V. p. 18. ausführlich p. 72 ff. Con. des Temps. 1822. Bibl. univ. XII. 156. Journ. de Ph. XC. 403.

1 Medical and philosophical essays. 1740. 8. p. 319.

2 Mém. de Par. 1719 und 1765.

3 Phil. Trans. LXXVIII. 53.

Tiefen von 20 bis 40 F. unter der Oberfläche der Erde eine stets gleichbleibende, weder mit den Jahres-noch Tages-Zeiten wechselnde Temperatur herrscht, welche der mittleren der Oerter sehr nahe gleich ist. Am vollständigsten geht dieses aus den lange fortgesetzten Beobachtungen eines Thermometers hervor, welches in dem Gewölbe unter der Sternwarte in Paris 86 F. unter der Erdoberfläche und 136 F. über dem Meeresspiegel aufgehangen, und seit 1671 bis auf die neuesten Zeiten beobachtet ist [1]. Cassini's Beobachtungen ergaben 9°,585 R. für den Winter und 9°,565 für den Sommer [2], also nur einen Unterschied von 0°,02. Bouvard [3] erhielt 1808 etwas mehr, nämlich 9°,638, woraus man auf eine Vermehrung der Temperatur schlieſsen könnte, allein der Unterschied ist zu unbedeutend, und vermuthlich eine Folge der Graduirung des Thermometers, dessen Scale 1817 durch Arago berichtigt ist, und 11°,7 C. als bleibende mittlere Temperatur zeigt [4], denn 1824 war dieselbe genau gemessen 11°,747 C. und die Veränderung betrug nicht mehr als 0°,03. De Saussüre [5] fand in der Grotte von Balan unweit Genf 160 F. weit vom Eingange 7°,5 R., in einer andern 9°,5 R. Bei Thermometern, welche er in die Erde senkte, fand er die Differenzen stets mehr abnehmend, je tiefer sie standen, und zuletzt fast verschwindend [6]. Ein in Genf in einem Brunnen von 11 Metres Tiefe gesenktes Thermometer zeigte [7] von 1796 bis 1805 als Maximum 9°,9 im December 1804 und 7°,3 R. im Juni 1798. Die Commission des Arts fand im Josephsbrunnen, welcher in der Citadelle von Cairo 200 F. tief ausgegraben ist, eine beständige Temperatur von 22°5 C. und viele ähnliche Resultate geben die Beobachtungen v. Humboldt's, Hamilton's [8] u. a. Ich selbst habe seit 1820 zu andern Zwecken drei Thermometer in 1,5; 3 und 5 F.

---

1 Die ältesten Beobachtungen sind nach der genaueren Bestimmung der neueren Thermometerscalen auf diese reducirt.

2 Mém. de l'Ac. 1786. p. 511. J. de Ph. XXXV. 190.

3 J. d. Ph. LXVI. 407.

4 Ann. Ch. et Ph. 1817. Dec. Ebend. XXVII. 370. Vergl. de la Metherie Théorie de la Terre. III. 357.

5 Voyages dans les Alpes. 1780—86. IV. T. 8. I. 178 u. 324.

6 Ebend. III. 223.

7 Journ. de Ph. LXVIII. 224.

8 Bibl. Brit. VIII. 336.

Tiefe in die Erde gesenkt, und vermittelst derselben gleichfalls den Satz bestätigt gefunden, daſs die Veränderungen in den Temperaturen der Erdrinde den Tiefen umgekehrt proportional sind.

Als Resultate aus den verschiedenen thermometrischen Messungen der Temperatur der Erdrinde, geht also Folgendes hervor.

1. Die Einflüsse der täglichen Veränderungen der äuſseren Wärme reichen bis 1,5 F. der Erdrinde und verschwinden bei 3 F. Tiefe [1], indem das eine der von mir beobachteten Thermometer in der letzteren Tiefe die stärksten Einflüsse erhöhter oder verminderter Wärme, z. B. durch die Sonnenstrahlen oder den Regen, selten schon am zweiten, meistens erst am dritten Tage oder später bemerkbar machte.

2. Die monatlichen Einflüsse fangen an zu verschwinden bei 5 F. Tiefe. Das längste meiner Thermometer wurde nämlich durch die Aenderungen der äuſseren Temperatur in der Regel erst einen halben oder einen ganzen Monat später afficirt. Es fiel z. B. das Maximum der Sommerwärme bei dem 1,5 F. tiefen Thermometer im Jahre 1821 auf den 26. Aug., bei dem in 5 F. Tiefe auf den 7. Sept.; im Jahre 1822 bei jenem auf den 9ten Juni, bei diesem auf den 10. Juli, im Jahre 1823 bei jenem auf den 31. Aug. bei diesem auf den 7. Sept.; im Jahre 1824 bei jenem auf den 15. Juli, bei diesem auf den 13. Aug.; im Jahre 1826 bei jenem auf den 5. Juli, bei diesem auf den 30. August. Dagegen fielen die Minima 1821 auf den 2. Jan. und 21. Febr.; 1822 auf den 14. Jan. und den 1. Febr.; 1823 auf den 14. Jan. und den 9. Febr.; 1824 auf den 19. Jan. und den 4 Febr. Diejenigen Thermometer, welche Maurice [2] von der Oberfläche bis zu 3 F. Tiefe in die Erde gesenkt hatte, waren hiernach nicht tief genug, um gehörige Resultate zu geben.

3. Das Verschwinden der jährlichen Veränderungen vom Maximo im Sommer bis zum Minimo im Winter läſst sich daher etwa zu $\frac{12}{2} \times 5$ F. $= 30$ F. annehmen. Hiermit stimmen de Saussure's [3] Erfahrungen überein, welcher Thermometer

---

1 Fourier Théorie de la Chaleur. p. V. setzt diese Grenze auf ohngefähr 3 Met.

2 Bibl. Brit. VIII. 343.

3 Voy. III. §. 1418.

in ein tiefes Loch senkte, und in einer Tiefe von 29,5 F. nur 1° R. Veränderung beobachtete.

4. Der vorstehende Satz ist jedoch nur dann richtig, wenn jeder Zugang nach Aufsen abgeschnitten, und der Boden etwas fest ist. Bei lockerem Erdreiche, in welchem das Wasser leichter und tiefer eindringt, kann dieser Punct so nahe nicht liegen, und ich glaube vielmehr, dafs die Grenze der gleichbleibenden Temperatur der Erdrinde allgemein nicht höher als etwa in 60 F. Tiefe gesetzt werden kann.

Die Temperatur der äufseren Erdrinde kann aus begreiflichen Gründen am leichtesten erkannt werden aus der Wärme von Quellen, welche aus gröfserer Tiefe entspringen, indem diese dem äufseren Wechsel der Temperatur nicht unterworfen sind, und unverändert eine der mittleren des Ortes sehr nahe gleich kommende Wärme haben. Wenn sich bei denselben eine Veränderung zeigt, so besteht sie darin, dafs sie im Winter etwas wärmer sind als im Sommer, weil sie zu jener Zeit mehr das Regenwasser der heifsen Monate, zu dieser das Schneewasser der kalten wiedergeben, der geringe Unterschied beurkundet indefs genugsam, dafs die Erdschicht, woraus sie entspringen, eine unveränderliche Temperatur hat, welche nach vielfachen Untersuchungen von der mittleren des Ortes nur wenig verschieden ist. ROEBUCK kam daher schon auf die Idee, die Wärme der Erde und zugleich die mittlere des jedesmaligen Ortes aus den Quellen zu messen, indem er die letztere für London = 52°,16 F. für Edinburg = 47,7 die ersteren dagegen 51°,02 und 47° F. fand, ohne dafs man die Sache weiter beachtete [1]. Auf CAVENDISH's Antrag mafs indefs zur Prüfung dieser Behauptung J. HUNTER [2] die Wärme der Quellen auf Jamaica, und fand sie mit der mittleren jenes Ortes übereinstimmend = 80° F. Seitdem haben insbesondere v. HUMBOLDT, dann WAHLENBERG, L. v. BUCH, TRALLES, (früher schon BEGUELIN u. a. die Sache vielfach bestätigt. A. v. HUMBOLDT [3] hat die Berichtigung hinzugefügt, dafs in niederen

---

1 Phil. Trans. 1775. p. 459.

2 Ebend. 1788.

3 Reisen u. s. w. deutsche Ueb. Tüb. 1818. II. 130. J. de Ph. LXVI. 425. D'AUBUISSON Traité de Geognos. I. 427.

Breiten die Quellen eine etwas geringere, in höheren eine etwas größsere Wärme zeigen, als die mittlere der Oerter. So fand er zu Cumanacao die mittlere Temperatur der Luft = 25 bis 26° C., die der Quellen = 22°,5; zu Cuba jene = 25° C., diese nach der Angabe in tiefen Grotten = 22 bis 23°. WAHLENBERG hat viele Untersuchungen angestellt, um die mittlere Temperatur der Oerter aus der Wärme tiefer Quellen zu finden [1], erhielt aber unter andern mit L. v. BUCH [2] auf dem Gotthard, wo die mittlere Temperatur = 0 ist, die der Quellen = 3° C.

Inzwischen hat dieses Mittel zur Bestimmung der mittleren Temperatur der Oerter und der unveränderlichen Wärme der äufseren Erdrinde, welches man als ein untrügliches anzusehen geneigt war, neuerdings durch einige genaue Untersuchungen von seinem Ansehen etwas verloren. Nach ERMAN[3] erhielt WAHLENBERG aus dem Louisenbrunnen bei Berlin im Mittel 7°,68. R., er selbst dagegen 7°,59. Aus anderen länger beobachteten Quellen fand ERMAN 8°,033 oder 8°,066. Aus den Beobachtungen eines Thermometers im Schatten fand BEGUELIN 7°,787, v. HUMBOLDT 6,8 oder 6,4 und TRALLES mit grofser Sorgfalt 6°,4, welche Gröfsen bedeutend abweichen. ERMAN kam daher auf die Vermuthung, die chemischen Zersetzungen machten die Quellen wärmer, die Auflösungen von Salzen kälter, wogegen aber die Temperatur der Salzquellen streitet, welche höher ist, als die mittlere der Oerter, und um so höher, je reicher die Quellen sind. Auch MERIAN [4] untersuchte sorgfältig 8 Quellen, welche meistens in Basel selbst und aus ungleichen Tiefen entspringen. Die tiefern änderten allerdings das ganze Jahr hindurch ihre Temperatur nicht, die flacheren wechselten mit den Monaten. Die mittlere Temperatur aller differirte im ganzen Jahre von 8°,6 C. bis 10°,1, und das allgemeine Mittel aus allen war 9°,5 C. oder mit Ausschlufs der minder sicheren 8°,6. Uebrigens schliefst er aus seinen Beobachtungen, dafs die flacheren, anhaltend und oft beobachtet, die mittlere Temperatur des Ortes am sichersten geben.

---

1 G. LI. 115.

2 D'AUBUISSON a. a. O.

3 Berlin. Denksch. 1818 S. 377.

4 Abhandlung über die Wärme der Erde in Basel, Bas. 1823. 4.

Aus den bisherigen Untersuchungen ergiebt sich als Endresultat, daſs zwar die Bestimmung der Temperatur der äuſseren Erdrinde keineswegs so ganz unsicher ist, als die des Erdkernes, dennoch aber gar manchen Schwierigkeiten unterliegt, wenn man vollkommene Genauigkeit verlangt. Eben dieses haben auch schon andere Physiker gefunden [1]. Sie aus der Temperatur der Höhlen, der Schachte oder tiefer Keller zu finden, ist wegen mancher äuſseren Einflüsse, namentlich der Luftströmungen etwas unsicher. So fand v. Humboldt in den Minen der Andes südlich vom Aequator in einer Höhe von 3700 Met. 13°,7 bis 14°,2 C. bei einer äuſseren Temperatur von — 2°,5 und + 8°, in Micuipampa in einem Bergwerke Peru's auf 1000 Met. Höhe 18°,7; in den Kalkhöhlen von Cuba 22°,5. Die Untersuchung der Quellen läſst gleichfalls einige Ungewiſsheit zurück. v. Humboldt fand in der Provinz Caraccas und in den Ebenen von Rom die Quellen stets 4 bis 5° kälter als die mittlere Temperatur der Oerter, und hiernach bleibt also fraglich, nach welchem Gesetze die gefundenen Gröſsen jederzeit corrigirt werden müssen.

Das beste Mittel zur Bestimmung der mittleren Temperatur scheint mir die Beobachtung von Thermometern, welche ungleich tief in die Erde gesenkt sind. Die oben erwähnten, von mir seit einigen Jahren beobachteten, in 1,5; 3 und 5 F. Tiefe befindlichen [2], wovon ich das tiefste durch A und die folgenden durch B und C bezeichnen will, gaben im Mittel aus ganz jährlichen Beobachtungen in Graden nach R.

1822 A = 9°,81; B = 10°,17; C = 9°,98
1823 A = 8,27; B = 8,46; C = 8,20

Man ersieht schon aus diesen wenigen Resultaten, daſs erstlich die warmen Jahre eine weit gröſsere Wärme geben als die kälteren, und die einzelnen Beobachtungen der Quellen daher kein genaues Resultat versprechen. Zweitens sind zwar die Temperaturen der äuſsersten Erdrinde und der nur 5 Fuſs tiefen Schicht im Mittel eines ganzen Jahres einander gleich, allein bei warmen Jahren erhält doch die obere Kruste in 1,5 F. eine gröſsere Wärmemenge, als die in 5 F. tief befindliche, waraus

1 v. Humboldt a. a. O.

2 Eine nähere Beschreibung derselben und der damit erhaltenen Resultate s. *Temperatur*. Daselbst werde ich mich auch über die Differenz des mittleren Thermometers erklären.

folgt, dafs die jährlichen Veränderungen selbst in dieser geringen Tiefe schon eine Modification erleiden.

C. Temperatur der Erdoberfläche.

Die Temperatur der Erdoberfläche fällt mit der Wärme der äufseren, die Erde zunächst berührenden, Luftschicht nahe zusammen, steigt und fällt mit dieser, wechselt mit den Tags- und Jahres-Zeiten, und wird in der Regel nicht selbst gemessen, sondern aus Beobachtungen der im Schatten aufgehangenen Thermometer bestimmt. Um aber von diesen weitläufigen Untersuchungen dasjenige zu scheiden, was nicht unmittelbar zur Sache gehört, also die Wärme der Erdrinde nicht unmittelbar betrifft, bemerke ich, dafs die Regeln und Methoden, die sogenannte mittlere Temperatur der Tage und Jahre, die Maxima und Minima, die Bedingungen des Wechsels gröfserer und geringerer Hitze und Kälte, die Extreme beider sammt den verschiedenen bedingenden Ursachen hiervon und alles dahin Gehörige unter dem Artikel *Temperatur* abgehandelt werden wird. Was also hier als Temperatur der Erdoberfläche zur Untersuchung kommt, ist im Wesentlichen Folgendes.

1. Da die Temperatur der Erdoberfläche im Allgemeinen von der Einwirkung der Sonnenstrahlen abhängt, so ist die Wärme der Erdrinde in der Regel bedeutend gröfser, als die der darauf ruhenden Luftschicht, weil in dem dichteren Körper weit mehr Wärme entbunden wird, als in der dünneren Luft. Hieraus erklärt sich die oft brennende Hitze in den Wüsten, insbesondere wenn sie mit tiefem Sande bedeckt sind, und der Feuchtigkeit ermangeln [1]. Ohne die directe Einwirkung der Sonnenstrahlen ist der Unterschied minder bedeutend, und im Ganzen darf man beiden, sowohl der Erdoberfläche als auch der sie berührenden Luftschicht die nämliche mittlere Temperatur beilegen. Wahlenberg [2] stellt die Regel auf, dafs die mittlere Temperatur der Luft unter 46° N. B. mit der mittleren des Bodens zusammen fällt, von hieran aber nach Norden hin schneller, nach Süden langsamer abnimmt, allein dieses pafst zwar wohl auf Norwegen und Schweden, keineswegs aber allgemein, wie die folgenden Untersuchungen zeigen.

---

1 Vergl. *Temperatur.*

2 De vegetatione et climate in Helvetia p. LXXXIV.

2. Wenn man hiernach die Wärme als allein durch den Einfluſs der Sonnenstrahlen erzeugt annimmt, so folgt, daſs die Menge der auf eine gegebene Fläche fallenden Strahlen sowohl, als auch der senkrechte Stoſs derselben dem Sinus der Sonnenhöhen proportional sind, ihre gemeinschaftliche Wirkung muſs also mit dem Quadrate dieser Sinusse abnehmen, und da diese zugleich mit den Graden der Breite zusammenfallen, so stellte T. Mayer [1] die allgemeine Formel für die mittleren Temperaturen der Erde auf, wonach

$$y = m - n \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$$

seyn soll. Hierbei käme es auf die Bestimmung der Coëfficienten an, allein die Erfahrung zeigt, daſs die Formel auf keine Weise allgemein gültige Resultate giebt. Wird $m = n = 24°$ R gesetzt, so ist $y = m \text{ Cos.}^2 \text{ lat.}$, wonach für die verschiedenen Breiten und mit Rücksicht auf die wechselnden Sonnenhöhen folgende Werthe für die nördliche Halbkugel erhalten werden [2], welche durch Vertauschung des Standes der Sonne im Zeichen des Krebses und Steinbocks leicht auf die südliche Hemisphäre übertragen werden können.

Breiten	Stand der Sonne.		
	Krebs	Steinbock	Widder und Waage.
0°	20°,4	20°,4	24°,0
10	22,5	16,5	22,8
20	23,5	12,4	20,6
30	23,5	8,4	17,7
40	21,6	4,3	13,9
50	18,9	1,9	9,6
60	15,3	0,24	8,0
70	11,3	0,07	2,6
80	7,2	— 1,0	0,7
90	3,6	— 3,6	0,0

Lichtenberg findet zwar, daſs die hiernach erhaltene Bestimmungen mit denen übereinkommen, welche die Erfahrung giebt, allein indem er sich hierbei auf Cotte [3] bezieht, so sieht man bald, daſs nur ein geringer Theil der nördlichen Halbku-

1 Opera inedita ed. G. C. Lichtenberg Gött. 1775. I. 4.

2 Vergl. G. G. Schmidt Naturl. p. 613.

3 Traité de Météorologie Par. 1774. 4.

gel berücksichtigt ist. Uebrigens haben schon HALLEY[1], MAIRAN[2], WOLF[3], L. EULER[4] und insbesondere LAMBERT[5] diesen Gegenstand weitläuftig behandelt, die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen theoretisch zu bestimmen gesucht, dabei auf die Länge der Tage und Nächte, die Höhe der Sonne und auch die Entfernung derselben Rücksicht genommen, allein da die Resultate mit der Erfahrung dennoch unvereinbar bleiben, so übergehe ich eine weitere Mittheilung ihrer Darstellungen. Andere beziehen sich mehr auf die Beobachtungen, z. B KIRWAN[6], welcher 24° R. als mittlere Wärme unter dem Aequator annimmt, und hiernach folgende Werthe findet

Grade N. B.		Mit Rücksicht a. Local.	Ohne Rücksicht a. Local
59° 56′	*Petersburg*	3°,0	5°,7
59 20	*Stockholm*	4,4	5,0
52 31	*Berlin*	7,5	8,4
51 31	*London*	8,4	8,8
48 50	*Paris*	8,8	9,7
48 12	*Wien*	8,4	9,8
44 50	*Bourdeaux*	11,3	11,5
43 17	*Marseille*	12,9	12,0
15 20	*Manilla*	20,4	21,3
36 49	*Algier*	17,7	14,6
11 20	*Pondichery*	24,8	22,2
0 30	S. B. *Quito*	13,3	23,1

Zur Vergleichung dieser Angaben kann der Kürze wegen füglich die unten folgende Uebersicht dienen.

Unter die gehaltreichsten Untersuchungen über diesen Gegenstand gehören ohne Widerstreit die von D' AUBUISSON DE VOISINS[7]. Dieser gründet auf einige genaue Beobachtungen die Formeln

$$T' = T \operatorname{Cos.}^{2,25} \text{lat. und } T' = T \operatorname{Cos.}^{2} \text{lat.}$$

---

1 Phil. Tr. Nro. 23. Art. 9.

2 Mém. de l'Ac. 1719. p. 104. 1765. p. 143.

3 Abhandlung vom kalten Winter 1709. in Thümmigii Meletemata varii et rarioris argumenti. Lips. 1726.

4 Comm. Ac. Pet. 1739. T. IX.

5 Pyrometrie. Berl. 1779. 4. p. 305.

6 Angabe von der Temperatur von den verschiedenen Breiten der verschiedenen Länder und Städte. Uebers. von Crell. Berlin 1788. 8.

7 Traité de Geognosie. I. 428.

hält die erstere A für die genaueste, die zweite B für hinlänglich, um die Temperaturen in genäherten Werthen zu erhalten, und findet hiernach folgende Gröfsen in Graden der Centesimalscale[1]:

Beob. Oerter.	Breiten	Beob.	Temperaturen berechnet nach A	nach B.
Cairo	30° 2′	22,5	21,7	20,3
Paris	48 50	11,7	11,7	11,7
London	51 29	10,8	10,3	10,5
Cork	51 54	10,6	10,0	10,3
Dublin	53 20	9,6	9,3	9,6
Eniscoo	54 48	9,3	8,6	9,0
Bellycastle	55 12	8,9	8,5	8,8
Stockholm	59 20	7,5	6,7	7,1
Torneö	65 51	3,0	3,9	4,5
Wadsoë	70 20	2,2	2,5	3,0

Die Uebereinstimmung der Beobachtungen, wovon die englischen von Hamilton[2], die schwedischen von Hellant[3] sind, und für sehr genau gelten können, ist allerdings überraschend, allein die Sache verliert an Gewicht, sobald man berücksichtigt, dafs die Oerter sämmtlich nahe genau unter den Meridianen von Paris und Berlin liegen, Beobachtungen unter andern Meridianen aber ganz abweichende Resultate geben. D'Aubuisson gesteht dieses selbst, und setzt noch hinzu, dafs die Differenzen noch gröfser werden, wenn man die Temperaturen nicht nach den Quellen mifst, wie hier geschehen ist, sondern aus Thermometerbeobachtungen im Schatten erhält, wie folgende Uebersicht zeigt:

---

1 In einem früheren, schon 1806 gedruckten Aufsatze nahm er für die Constante T die Temperatur im Gewölbe der Pariser Sternwarte = 12° C. und fand hiernach $T' = 31^\circ \, Cos.^{2,25} \, lat.$, und $T' = 28^\circ \, Cos.^{2} \, lat.$

2 Bibl. Brit. VIII.

3 Stockholmer Denksch. 1753.

Oerter	Breiten	Temperaturen beob.	berechn.	Diff.
Cumana	10° 27′	27°,7	26°,1	— 1,6
Neapel	40 50	17 ,4	15 ,4	— 2,0
Rom	41 53	15 ,7	15 ,0	— 0,7
Toulouse	43 36	14 ,5	14 ,7	+ 0,02
Bourdeaux	44 50	13 ,6	13 ,6	+ 0,0
Paris	48 50	11 ,0	11 ,7	+ 0,7
London	52 30	10 ,3	10 ,5	+ 0,2
Coppenhagen	55 41	7 ,7	8 ,6	+ 0,9
Stockholm	59 20	5 ,7	7 ,0	+ 1,3
Nord-Cap.	71 30	0 ,1	2 ,7	+ 2,6

Die anfangs bloſs negativen, nachher bloſs positiven Differenzen zeigen genugsam, daſs die Formel den Beobachtungen nicht Genüge leistet, jedoch lieſse sich für diese leicht eine finden, da die Differenzen regelmäſsig wachsen, wenn man hoffen könnte, hierdurch auch für die mittleren Temperaturen unter anderen Meridianen eine geeignete Formel zu erhalten. Auſser dem aber giebt die Formel die mittlere Temperatur unter dem Pole = 0, welches auf allen Fall viel zu hoch ist. Das Einzige, was scih also nach D'Aubuisson aus diesen Untersuchungen folgern läſst, ist, daſs für niedere und mittlere Breiten nicht weit über dem Meeresspiegel auf dem Lande und nahe genau auch über der Oberfläche des Meeres die mittlere Wärme der Oerter in genähertem Werthe durch die Formel $T' = 27° \text{Cos.}^2 \text{lat.}$ ausgedrückt wird, wonach also vom 30sten bis 60sten Grade der Breite unter den angegebenen Bedingungen die mittlere Wärme der Oerter für jeden Grad der Breite um 0,5 C. abnimmt. Hierbei ist indeſs bloſs von der mittleren ganz jährlichen Temperatur die Rede, nicht aber von den Extremen, indem in dieser Hinsicht das Meer z. B. sich ganz anders verhält, als das feste Land. Die Angabe stimmt übrigens sehr nahe mit derjenigen überein, welche Hamilton[1] aus seinen Beobachtungen in tiefen Kellern, desgleichen der Brunnen und Quellen für Irland folgert, wonach sich die mittlere Temperatur für jeden Breitengrad um 1° F. ändern soll. Daſs beide Bestimmungen nicht allgemein seyn können, ergiebt sich von selbst.

3. Es ist seit langer Zeit bekannt, daſs die nördliche Halbkugel, wenigstens daſs die Meere derselben, ungleich wärmer sind, als die der südlichen Halbkugel. Vor allen Din-

1 Bibl. Brit. VIII. 336.

gen zeigt sich ein merkwürdiger Unterschied, wenn man das Eismeer bei Spitzbergen mit den südlichen Meeren vergleicht. Obgleich nämlich manche Nachrichten von den Höhen, bis wohin Schiffe im nördlichen Polarmeere gekommen seyn sollen, nicht zuverlässig sind[1], so ist es doch gewiss, dass der rühmlichst bekannte Scoresby einigemale über den 81. Grad N. B. hinausgekommen ist, und einmal 81° 30′ wirklich erreicht hat[2]. Das Schiffen bis zum 80. Grade der Breite in jenem Eismeere gehört ausserdem zu den gemeinen Erscheinungen. Ganz anders aber verhält es sich auf der südlichen Halbkugel. Nach Cook stand am 5ten Dec. 1772 in 47° 10′ S. B. das Thermometer auf 2°,6 R. und in 49° 45′ fand er ein Stück Treibeis, dessen Grösse er auf 1000 Mil. Cub. F. angiebt. In 51° hatte er am 10ten Dec. 1°,7 R. Wärme am Thermometer, und unter 53° S. B., also etwa der Breite von Amsterdam traf er Frost, Eis und Schneegestöber. Am 17ten Jan. 1773 konnte er unter 67° 15′ wegen Treibeis nicht weiter kommen. Im Jahre 1774 traf er am 20sten Jan. unter 62° S. B. Eisinseln, passirte den 28sten Jan. als er Tag ohne Nacht hatte, zwischen Eisbergen den südlichen Polarkreis, und konnte am 30sten desselben Monates unter 71° 10′ vor Eise nicht weiter kommen. Im Jahre 1775 konnte er um dieselbe Zeit nicht weiter als bis zum 60° S. B. verdrängen. Bellinghausen fand in Neu-Georgien unter 54° S. B. im Monat December alles mit Schnee bedeckt und die Buchten voll Eis, drang bis 69° 30′ S. B. vor, konnte aber des undurchdringlichen Eises wegen nicht südlicher kommen[3]. Die höchste südliche Breite hat bisher Weddel am 20sten Febr. 1823 erreicht, nämlich 74° 15′, und wenn seine Angabe gegründet ist, so muss man sich allerdings wundern, dass er dort das Meer, so weit das Auge reichte, ganz frei von Eise fand[4]. Hiernach geht also das Eis, welches die Pole um-

---

1 S. unten Absch. VII.

2 An Account of the Arctic Regions with a History and Description of the Northern Whale-Fishery. In two Vol. 8. Edinb. 1820. I. 42. Es wird zwar oft, unter anderm in Corresp. Ast. XIV. N. 3 behauptet, Tchischagoff und Scoresby seyen bis zum 84sten Grade gekommen, allein dem eigenen bestimmten Zeugnisse des Letzteren ist unstreitig mehr zu trauen.

3 Simonoff in Cor. Ast. a. a. O.

4 A Voyage towards the South-Pole in 1822 — 4. containing

giebt, am Nordpole bis zum 9ten, am Südpole bis zum 18ten Grade d. B., und auf der südlichen Halbkugel gelangen die ungeheuren Massen, welche sich hiervon trennen, bis zum 60sten, ja sogar bis zum 49sten Grade der Breite, welches mit der nördlichen Halbkugel verglichen eine Breite von Boulogne und Abbeville bezeichnet. Zugleich darf man nicht sagen, dafs dieses blofs vom Meere gelte, denn das Feuerland jenseit der Magellanischen Meerenge unter 55° S. B. also mit Preufsen correspondirend, ist mit ewigem Schnee bedeckt[1].

Inzwischen beginnt dieser Unterschied der Temperatur beider Halbkugeln erst in höheren Breiten, wie folgende Zusammenstellung der auf dem Meere beobachteten Wärme nach Al. v. Humboldt[2] zeigt.

Breiten	Corresp. Monate.	Mittlere Temp. nach C. südl. Halbk.	nördl. Halbk.
0° bis 15°	December Junius	28°,0	. . . . . . 28°,5
18°	October April	. . . . . . 27°,5	26°,5 . . . . . .
22° bis 26°	Januar Julius	. . . . . . 22°,5	19°,3 . . . . . .
—	September März	. . . . . . 20°,8	20°,5 . . . . . .
34°	December Junius	. . . . . . 13°,8	15°,4 . . . . . .
—	Februar August	. . . . . . 16°,8	17°,0 . . . . . .
43°	Julius Januar	. . . . . . 15°,2	18°,2 . . . . . .
48°	Junius December	. . . . . . 7°	17°,7 . . . . . .
58°	Julius Januar.	. . . . . . 6°,2	13°,5 . . . . . .

an examination of the antarctic sea to the 74. degree of Lat. cet. By Jam. Weddel. Lond. 1825. 8. Vergl. Edinb. Phil. Journ. N. XXIII. 149.

1 Vergl. Biot Ast. II. 278.

2 Reisen d. Ueb. I. 362.

Einen sehr merklichen Unterschied fand ferner Duperrey schon auf den Malwinen unter 51° 30′ S. B. Als mittlere Temperatur erhielt er in den 18 Tagen vor dem Sommersolstitium 9° C. statt dafs dieselbe Zeit für London 15°, also einen Unterschied von 6° giebt[1].

Welche Ursachen diesen Unterschied erzeugen mögen, hat man oft gefragt, und früherhin diese Erscheinungen mit andern Abweichungen der südlichen Halbkugel in Verbindung gebracht. Seitdem aber erwiesen ist, dafs die südliche Halbkugel eine gleiche Gröfse und Gestalt hat, als die nördliche, fällt dieses Letztere weg. Die wahrscheinlichen Ursachen liegen aber zuerst in dem fast um 8 Tage längeren Sommer der nördlichen Halbkugel, welcher Unterschied durch die gröfsere Sonnennähe im Winter, obgleich diese nahe genau 672000 Meilen beträgt, nicht aufgewogen wird[2]. Ein zweiter Grund liegt in der gröfseren Ländermasse der nördlichen Halbkugel, wodurch mehr Wärme entwickelt wird. Die Sonnenstrahlen werden nämlich vom Wasser mehr spiegelnd reflectirt oder dringen tiefer in dasselbe ein, ohne auf gleiche Weise Wärme zu erzeugen, als dieses über festem dunkleren Erdreiche der Fall ist. Einen dritten Grund möchte ich in die individuellen Meeresströmungen setzen, wovon sogleich ausführlicher die Rede seyn wird.

4. Die Beobachtungen bieten uns indefs rücksichtlich der Temperatur der verschiedenen Orte noch eben so grofse als unzweifelhafte Abweichungen von der Regel dar, welche sich im Wesentlichen auf folgende Sätze zurückbringen lassen. Wenn wir von den besonderen klimatischen Einflüssen und der Temperatur des Meeres abstrahiren, so haben Schottland mit seinen Inseln, insbesondere aber Norwegen, Lappland und Finnland eine weit gröfsere Wärme, als sie nach ihrer nördlichen Lage haben sollten, und unterscheiden sich hierdurch sehr auffallend vom nördlichen Sibirien und noch weit mehr vom nördlichen America. Wenn ich hierbei Schottland übergehe, dessen Wärme aus der Nähe des Meeres erklärlich ist, so erscheint Norwegen, Lappland und Finnland so viel auffallender. Man findet dort, namentlich in Mageroë, Kielvig, Hammerfest, Alten u. s. w. Stellen, wo im Sommer kurzes Gras wächst, und sich im Win-

1 Con. des Tems. 1828. p. 254.

2 Vergl. Lambert Pyrometrie. p. 310. §. 589.

ter unter dem Schnee erhält, so dafs es von den Fieldlappen unter demselben aufgesucht und als Futter für das Vieh benutzt wird. Solche Stellen liegen meistens unter Felsenabhängen, und das Gras auf denselben dient den Schafen, hauptsächlich aber den Rennthieren zur Nahrung. In guten Kellern friert es dort nie, statt dafs unter gleichen Breiten in Sibirien der Boden nie aufthauet oder nur wenige Fufs durch den Einflufs der Sonnenstrahlen in den langen Tagen[1]. Diese, durch viele Zeugnisse bestätigte gröfsere Wärme jener Gegenden kommt nicht sowohl durch die Luft, als vielmehr vom Inneren des Bodens, indem andere Gegenden von Finnmarken, welche nicht durch eine günstige Lage klimatische Vorzüge haben, ganz die Rauheit ihrer nördlichen Breite empfinden. So erfror in Altengaard im unteren Theile von Finnmarken am 19ten Juli 1812 das Kartoffelnkraut, das Thermometer kommt nicht über 12°,5 C. und es friert selbst in Kellern, wenn sie nicht gut verwahrt sind[2].

Die grofse Kälte der Oerter in Sibirien, welche unter gleichen Parallelen liegen, als die genannten, ist zu bekannt, um noch besonders erwähnt zu werden, aber am meisten ist man in neueren Zeiten auf die unglaubliche Kälte im nördlichen Theile von America aufmerksam geworden. Wollte man von tiefer im Continente liegenden Oertern abstrahiren, so bleibt es doch sehr auffallend, dafs die Temperatur der östlichen Küste von America ungleich geringer ist, als der westlichen von Europa, und weit mehr der östlichen von Asien gleicht[3]. Obgleich von dem nämlichen Meere bespült, wird die Hudson's-Bay und Hudson's-Strafse im Mittel unter 60° N. B., also unter dem Parallel des noch immer milden Bergen nie von Eise frei, und die Küsten dort, wenigstens die nördlichen, sind für Europäer unbewohnbar. Der Unterschied beginnt schon in mittleren Breiten, und ist so viel auffallender, da die Rauheit des Klima's, oder mindestens die Kälte einzelner Winter selbst die Ostküste von Asien unter gleichem Parallele übertrifft, wovon einige Beispiele den Beweis liefern mögen[4]. In Hallowel

---

1 L. v. Buch Reise nach Norwegen und Lappland. 2 Th. Berl. 1810. 8. II. 89.

2 Bedemar Reisen. II. 94.

3 Mem. of the Soc. of Philadelphia. T. I.

4 Vergl. *Temperatur*, wo die Sache ausführlicher abgehandelt wird.

und Massachusetz[1] unter 44° 16′ N. B. dicht über dem Meere stand das Thermometer in den Nacht vom 22sten bis 23sten Jan. und vom 26sten bis 27sten Jan. 1807 auf — 37,5 C. v. Langsdorf[2] fand in Neuarchangel unter 57° N. B. das Klima ziemlich milde. Der 11te Jan. 1806 war der kälteste Tag, hatte aber nur — 20° C., und ein anwesender Americaner Dwolf versicherte ihn, es sey dort gelinder als in Boston, Rhode-Island u. a. a. O. Vorzüglich hat sich v. Chamisso[3] ausführlich über diesen Gegenstand erklärt. Die aleutischen Inseln unter der Breite von Hamburg haben stets ein winterliches Ansehen, und am 5ten Juli 1817 ging dort zuerst das Eis auf. Im Hafen Peter-Paul unter 53° 1′ zeigte sich den 29sten Juni 1816 das erste Erwachen des Frühlings. Nur die Birke wächst dort verkrüppelt, ungeachtet der Hafen gegen den Wind geschützt ist. Vielleicht würde dort Sommerkorn, wie in Lappland unter 70° N. B. aufkommen, allein der Versuch wäre zu unsicher, und man bauet daher nur Kartoffeln, welche kleine, aber eſsbare Knollen geben. Die Schneegrenze geht nach v. Buch in Mageroë unter 71° N. B. bis auf 300 Toisen herab, und nicht höher soll sie auf Unalaschka unter 54° N. B. seyn. Auf dieser nämlichen Insel ragen die Weiden kaum über das Gras hervor, welches übrigens üppig vegetirend die feuchten Thalgründe bedeckt. Erhebt man sich etwas aus diesen Niederungen, so hat man eine durchaus alpinische Flora. In der St. Laurent's Bucht unter 65° 30′ ist die Erde stets gefroren, und thauet bloſs durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen einige Fuſs tief auf, und dann wächst Gras und Weiden, welche aber bloſs bis ans Knie reichen. Im Kotzebue-Sund und am Ausflusse des Mackenzie-River unter 68° N. B. ist die Vegetation fast besser, allein dort giebt es sogar Stellen, wo das ewige Eis mit einem oder zwei Fuſs hoher Dammerde bedeckt ist, in welcher das Gras seine Wurzeln hat. Am auffallendsten sind die Beobachtungen von Parry und Franklin über die unglaubliche Kälte des nördlichen Theiles von America. Ersterer beobachtete unter andern in Melville unter 74° N. B. am 26sten Sept. schon — 15°,75 C., im Januar einmal 17 Stunden anhaltend — 45° als

---

1 Trans. of the Amer. Soc. 1809.
2 Reisen. II. 88.
3 Kotzebue's Reis. III. 163

gröſste Kälte aber — 48°,5. Selbst im Juni zeigte das Thermometer einmal — 2° C. im August — 5°,6, und bloſs im Juli kam die Temperatur nicht unter 0°. Dennoch aber wird dieses noch übertroffen durch das, was FRANKLIN auf dem Festlande erlebte, indem er unter 64° 30′ N. B., also 1° 20′ niedriger als Torneö, und 112° W. L. von Greenwich — 49°,3 C. beobachtete[1]. Daſs in jenen Gegenden die mittlere Temperatur nicht = 0 seyn könne, folglich auch die oben angegebene Formel nicht als allgemein gültig zu betrachten sey, ergiebt der Augenschein[2].

Man hat sich verschiedentlich Mühe gegeben, die Ursachen dieser Ungleichheiten aufzufinden. Der Spanier ACOSTA[3] leitet die gröſsere Kälte in America von dem Einflusse der Winde ab, allein diese Hypothese verdient gar keine ernstliche Widerlegung. D'AUBUISSON[4] und G. G. SCHMIDT[5] finden mindestens einen Theil dieser groſsen Kälte in Sibirien und Nordamerica aus der geringen Cultur des Bodens und den groſsen Wäldern erklärlich, allein hiergegen streitet das Verhalten der Meeresküsten, insbesondere seitdem es ausgemacht ist, daſs das nördliche americanische Continent unter etwa 68° N. B. an das Meer grenzt. v. CHAMISSO[6] sucht die gröſsere Wärme Norwegens aus den Strömungen der warmen Luft abzuleiten, welche von den Sandwüsten Africa's dorthin gelangen sollen. Dieser Grund hat allerdings viel für sich, allein er erklärt gerade die specielle Erscheinung, nämlich die höhere Temperatur Norwegens nicht, theils weil vermöge der Axendrehung der Erde

1 S. G. LXXIII. 63.

2 Ein Ungenannter in Trans. of the Royal Soc. of Edinb. 1820, vergl. Bibl. univ. XVII. 259 giebt sich viele Mühe darzuthun, daſs die Formel $T' = 22°$ R. Cos.^2 lat., mit den Beobachtungen besser übereinstimmen als die von KIRWAN oben angegebene, welcher 24° R. annimmt, und eine weitläufige Tabelle soll diesen Satz begründen. Allein die Widerlegung folgt aus dem im Texte gesagten von selbst. Leichter würde T. MAYER's Formel, $T = m - n\ \text{Sin.}^2$ lat. für höhere Breiten passend werden, wenn man n gröſser als m nähme, allein dann würde sie den niederen Breiten nicht angemessen seyn. Eine allgemein passende Formel ist bei so groſsen Abweichungen unmöglich.

3 Erwähnt in v. Humboldt's Reisen.

4 Geognosie. I. p. 433.

5 Naturlehre. S. 626.

6 Kotzebue's Reise. III. 163.

die unter dem Aequator aufsteigenden, und so mit einer stärkeren Schwungkraft versehenen Luftschichten bei ihrer nördlichen Strömung eine südwestliche Richtung annehmen müſsten, und also eher nach Preuſsen und Ruſsland, als nach Norwegen, gelangen würden, theils ist nicht sowohl die Luft in Norwegen wärmer, als vielmehr der Boden, wie aus der Vegetation desselben selbst unter dem Schnee im Winter im Gegensatze gegen Sibirien und America genugsam hervorgeht [1].

Ich selbst habe über dieses Problem lange und ernstlich nachgedacht, ohne daſs es mir gelingen wollte, die mir selbst genügend scheinenden Ursachen aufzufinden, hege aber gegenwärtig folgende Ansicht. Die gröſsere Kälte des nördlichen America's und Sibiriens darf nicht als etwas Ausgezeichnetes betrachtet werden, sondern ist die Regel, welche die der Erde im Allgemeinen zukommende Wärme angiebt, bei weitem dem gröſsten Theile der nördlichen Halbkugel zukommt, und der ganzen südlichen eigen ist. Man würde diesen so klaren und an sich so unbestreitbaren Satz schon längst angenommen haben, wenn man nicht der Natur der Sache nach auf eigene Beobachtungen einen vorzüglichen Werth zu legen pflegte, und nun fallen gerade die Wahrnehmungen der cultivirten Welt zunächst in Gegenden, welche nicht die Regel, sondern die Ausnahme der regelmäſsigen Erdtemperatur angeben, weswegen die hieraus abstrahirten Resultate als die bestimmenden, die davon abweichenden aber als Ausnahme betrachtet wurden. Die Aufgabe wird hierdurch bedeutend leichter, indem sie fordert, die Ursachen der über die Regel hinausgehenden mittleren Temperatur eines groſsen Theiles von Europa und insbesondere Skandinaviens aufzufinden. Dieser giebt es verschiedene, welche zusammenwirken, deren einige gewiſs, andere noch problematisch sind.

Als erste und hauptsächlichste Ursache sehe ich die *individuelle Strömung des groſsen Oceans* an. Bekanntlich hat der Golphstrom das heiſseste Wasser des Meeres auf der ganzen Erde, und in so ungeheurer Menge, daſs die groſse Wärme desselben noch auf 80 bis 100 Faden Tiefe bemerklich ist [2], drängt seine Fluthen in den Mexicanischen Meerbusen zusam-

1 Wahlenberg bei G. XLI. 277.
2 Horner bei G. LXIII. 276.

men, von wo aus sie ihre Richtung nach den europäischen Küsten nehmen. Sie wirken alsdann auf eine gedoppelte Weise, zuerst indem sie den Erdboden von unten auf fortwährend erwärmen, und zweitens indem die aufsteigenden heiſsen Dämpfe als warmer Regen niederfallen. Die Wahrheit dieser letzteren Behauptung geht unverkennbar hervor aus einer schätzbaren Vergleichung, welche der scharfsinnige Capt. Sabine zwischen der schnelleren Strömung dieses Riesenstromes, als Folge anhaltenderer periodischer Winde unter dem Aequator, und der hierdurch höheren Temperatur desselben nebst der hiervon abhängenden gelinderen Witterung im Winter und der gröſseren Regenmenge hauptsächlich an Groſsbritanniens Küsten gegeben hat[1], sie folgt aber auſserdem noch sehr deutlich aus dem Gesammtverhalten der Witterung in dem gröſsten Theile von Europa, indem die Regen der Regel nach durch westliche, südwest- und nordwestliche Winde herbeigeführt werden, auch heftige Stürme meistens im atlantischen Ocean ihren Ursprung haben, worüber ich unter andern nur auf die schätzbaren Untersuchungen von Brandes[2] verweise. Daſs eben diese Ursache auch die vielen Stürme, lauen Winde, warmen Winterregen und Wintergewitter, endlich aber zugleich den niedrigen Barometerstand an Norwegens Küsten herbeiführe, liegt, wie mich dünkt, am Tage; allein nicht bloſs dieses darf man als erwiesen ansehen, sondern selbst die Erwärmung des Bodens von unten her durch das allerorten anspülende wärmere Wasser. Lange habe ich vergebens gesucht, dieses durch eine genügende Autorität zu beweisen, bis ich auch diese gefunden habe. Scoresby's Untersuchungen[3] haben nämlich ergeben, daſs das Wasser des Meeres selbst bis zur Westküste von Spitzbergen hinauf in der Tiefe an Wärme bedeutend zunimmt, wovon auch nach seiner Ansicht die Ursache in nichts anderem als in Strömungen liegen kann, durch welche das wärmere Wasser herbeigeführt wird[4].

---

1 An Account of Experiments to determine the Figure of the Earth. cet. p. 433.

2 De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis. Lips. 1826. 4.

3 Account of the Arctic Regions I. 209. Vergl. Tagebuch einer Reise auf den Wallfischfang u. s. w. übersetzt von Kries. Hamburg 1825. 8. S. 257.

4 Ich habe bei mir schon oft die Frage aufgeworfen, welche

Dabei ist es merkwürdig, wie günstig die Lage Europa's ist, um von Strömungen dieser Art Vortheil zu ziehen. Dahin gehört das Einströmen des atlantischen Meeres durch den Canal von Gibraltar in das mittelländische Meer, durch den Canal zwischen England und Frankreich in die Nordsee, und das Eindringen seines Wassers bei Stürmen und vielleicht auch durch eine Unterströmung in den Sund, die Richtung seiner nördlichen Küsten nicht gerechnet. Aehnliche Meeresströmungen mögen auf die Temperatur der östlichen Küste Asiens einen Einfluſs haben, indeſs sind diese weniger leicht nachzuweisen, an sich ungleich geringer und somit auch weit weniger wirksam.

Auſser dieser Ursache ist nicht zu verkennen, daſs die von Africa's brennenden Sandebenen aufsteigenden und seitwärts abflieſsenden erhitzten Luftmassen nach Chamisso[1] zur Erwärmung des nördlichen Europa's vieles beitragen müssen, wenn sie auch vermöge der Axendrehung der Erde nur zum geringsten Theile gerade Norwegen treffen, und ihre Wirkungen mehr östlich über Preuſsen, Finnland und Ruſsland ausdehnen, wie denn überhaupt alle Länder des nördlichen Europa's und selbst auch Asiens dem Einflusse der gröſseren Wärmeentbindung über weiten Länderstrecken ausgesetzt sind, und daher im Allgemeinen eine höhere Temperatur haben, als das nördliche America, wo eine solche Ursache überall nicht, oder nur in einem weit geringeren Grade wirksam ist.

Ob auſser diesen Ursachen noch andere, namentlich in Beziehung auf Norwegen, wirksam sind, wage ich aus Abneigung gegen bloſse Hypothesen nicht zu entscheiden. Man könnte sonst die unterirdischen vulcanischen Herde Islands anführen, oder noch näher die unbestreitbare Erhebung Skandinaviens aus einer Erwärmung durch gleiche Ursachen herleiten, allein dieses alles ist ungewiſs und unzuverlässig.

5. Niemand hat die ungleiche Verbreitung der Wärme über den Erdboden nach den darüber bekannten Thatsachen vollständiger aufgefaſst und sinnreicher zusammengestellt, als A. v. Hum-

---

Veränderungen nach dieser Ansicht die Durchgrabung der Landenge von *Panama* nach sich ziehen würde. Wäre einmal ein kleiner Canal vorhanden, so würde die Gewalt des Wassers ihn bald erweitern.

1 S. oben.

Fig. 180. BOLDT[1] in seinen isothermischen Linien (bandes isothermes). Man wufste nämlich schon lange, dafs nicht alle Oerter unter gleichen Parallelen eine gleiche Temperatur haben, v. HUMBOLDT aber hat dargethan, dafs nach Abzug des Einflusses der stärkeren Erhebung über den Spiegel des Meeres die mittlere Temperatur der verschiedenen Gegenden so ist, als ob sie unter niederen Breiten lägen, und wenn man hiernach die Parallelen auf eine solche Weise krümmt, dafs sie durch die Oerter von gleicher mittlerer Wärme gehen, so erhält man die genannten Linien. Indem aber die Zeichnung an sich deutlich ist, die wahrscheinlichen Ursachen dieser Abweichungen aber schon angegeben sind, so bedarf die Sache keiner weiteren Erläuterung. Im Allgemeinen folgt zugleich, dafs die Temperaturverminderung für gleiche wachsende Breitenunterschiede im alten Continente geringer ist, als im neuen. Man kann nach v. HUMBOLDT hierüber folgende Werthe als der Wahrheit sehr nahe kommend annehmen.

Grade der Breite	Abnahme der Temp.	
	altes Continent	neues Continent
0° bis 20°	2°	2°
20 — 30	4	6
30 — 40	4	7
40 — 50	7	9
50 — 60	5,7	7,9

Aus denjenigen Thatsachen, auf welche v. HUMBOLDT die Construction seiner isothermischen Linien gegründet hat, und aus einigen anderen glaubhaften Angaben ist die folgende Zusammenstellung der mittleren Temperaturen einiger der bekanntesten Oerter hervorgegangen, bei deren Bestimmung jedoch der Einflufs anderweitiger Bedingungen, als der Höhe über der Meeresfläche u. s. w. zu berücksichtigen ist, wenn man ihre mittlere Temperatur mit ihrer geographischen Lage vergleicht.

1 Mém. de la Soc. d'Arcueil, T. III, Vergl. Ann. Ch. et Ph. T. V.

Oerter	Breiten	Temp.	Oerter	Breiten	Temp.
Guiana	. . . .	28°,1	*Warschau*	52° 14	9°,2
Cumana	10° 28′	27,7	*Strassburg*	48 35	9,1
Batavia	6 12s	26,9	*Berlin*	52 32	9,1
Madras	13 5	26,9	*Bellycastle*	55 12	8,9
Senegambia	14 40	26,6	*Edinburg*	55 56	8,8
Vera Crux	19 12	25,6	*Göttingen*	51 32	8,3
Havanna	23 9	25,6	*Koppenhagen*	55 41	7,6
Manilla	14 36	25,6	*Delft*	52 1	7,5
Cairo	30 2	22,4	*Christiania*	59 55	5,9
S. Croix di Te-			*Williamstown*	— —	5,9
neriffa	28 28	21,9	*Stockholm*	59 20	5,8
Algier	36 50	21,0	*Upsala*	59 52	5,5
Neapel	40 50	18,0	*Quebeck*	46 48	5,5
Paramatta	33 49s	17,3	*Abo*	60 27	5,2
Rom	41 54	15,8	*Moscow*	55 45	4,5
Marseille	43 17	14,3	*Drontheim*	63 26	4,4
Mailand	45 29	13,2	*Petersburg*	59 56	3,8
Philadelphia	39 57	12,9	*Torneä*	65 51	3,0
St. Malo	48 39	12,5	*Wadsoë*	70 20	2,2
Newyork	40 43	12,1	*Umeo*	63 49	0,7
Peking	39 54	12,6	*Uleo*	65 0	0,6
Amsterdam	52 22	11,9	*Eyafiord*	66 30	0,6
Paris	48 50	11,7	*Nordcap*	71 10	0,0
Franecker	— —	11,3	*Cumberland*		
London	51 29	10,8	*House*	54 0	— 0,5
Buda	47 30	10,6	*Enontekis*	68 17	— 2,8
Cork	51 54	10,6	*Nain*	57 8	— 3,1
Ofen	47 49	10,6	*Fort Enter-*		
Wien	48 11	10,3	*prise*	64 30	— 9,2
Manheim	49 39	10,2	*Winter - Is-*		
Prag	50 5	9,9	*land*	66 12	—12,5
Genf	46 12	9,6	*Ingloolik - Is-*		
Dublin	53 20	9,6	*land*	69 30	—13,9
Eniscoo	54 48	9,3	*Melville - Is-*		
Sala	59 50	9,3	*land*	75 —	—18,5

D. Temperatur der Atmosphäre.

Die Untersuchung über die Wärme der Luft, sowohl in ihrer Berührung mit der Erde als auch in gröſseren Höhen ist sehr interessant und wichtig, zugleich aber auch ausnehmend schwierig, nicht bloſs was die Theorie, sondern selbst was die bloſsen Thatsachen betrifft. Ausgemacht ist zuvörderst im Allgemeinen, daſs die Wärme der Luft mit der Temperatur der Erdoberfläche, auf welcher sie ruhet, correspondirt, und nach

leicht zu erklärenden Modificationen, die letztere bald übertrifft, bald hinter ihr zurückbleibt, dafs ferner die Luft von der Erde meistens Wärme erhielt, oft aber auch dieser mittheilt, dann aber von einer im Niveau des Meeres liegenden Ebene an gerechnet mit zunehmender Höhe an ihrer Temperatur nach einem vorerst noch unbestimmten Gesetze abnimmt. Um jedoch eine an sich so schwierige Sache in der Darstellung nicht noch mehr zu verwirren, mögen zuerst die bekannten Thatsachen und demnächst die darauf gebaueten theoretischen Bestimmungen folgen.

a. Erfahrungen über die Wärmeabnahme in gröfseren Höhen.

Die Resultate, welche man aus der Messung der Temperaturen und der Höhen, denen sie zugehören, erhalten hat, weichen so sehr von einander ab, dafs es kaum den Anschein hat, als liefse sich auf diesem Wege überhaupt Gewifsheit erlangen. Folgendes scheint indefs die herrschenden Regeln und die einflufsreichsten Bedingungen zu enthalten.

1. *Die Wärmeabnahme ist geringer über grofsen Bergmassen und Bergebenen* (Plateaus) *als über einzelnen Bergspitzen* (Pics). Die meisten Beobachtungen, welche dieses insbesondere zwischen den Wendekreisen auf America's hohen Bergebenen darthun, verdanken wir dem Eifer A. v. HUMBOLDT's. Nach ihm findet man auf dem Rücken der Andes in einer Höhe von 1600 Metern die mittlere Temperatur von Algir, auf 2700 M. die von Florenz. Dagegen mufs man an steilen Bergen tiefer herabsteigen, um in das Klima von Italien und Nordafrica zu kommen. So fand er unter andern[1]

Beobachtungsörter	Breiten	Höhen Met.	mittl. Temp.	Höhe für 1°C. Tois.
Quito	0° 13′ 17″ s	2907	15°,0	125
Popayan	2 16 17 n	1769	20,6	130
Sta. Fe de Bogota	4 35 0	2660	16,5	131
Mexico	19 25 35′	2277	16,9	129
		Mittel		128,7

Diese Höhen, welche wenig von einander abweichen, sind ungleich gröfser, als diejenigen, welche sonst bei gleichen Erhe-

1 G. XXXI. 369.

bungen gefunden werden, und stehen bloſs denjenigen nach, welche man auf den noch bedeutendern Bergmassen des Himlayagebirges gefunden hat, wenigstens danach zu schlieſsen, daſs die Schneegrenze dort so ausnehmend hoch liegt[1]. Ueberhaupt gehören diese ungewöhnlichen Höhen für die Abnahme der Wärme nur den unteren Theilen bis zur angegebenen Höhe der Bergebenen an, indem weiter hinauf die Wärme ungleich schneller abnimmt, wie abermals die Höhe der Schneegrenze beweiset.

2. Eben diesem fleiſsigen Forscher verdanken wir auch eine Menge Beobachtungen über die Abnahme der Temperatur auf den hohen Bergen zwischen den Wendekreisen. Dahin gehören unter andern folgende[2]:

Beobachtungsörter.	Breiten		Unterschied der		Höhe in Met. auf 1° C.
			Höhe	Temp.	
Coffre de Perotte	19°	29′	4047	22°,1	183,1
Nevado de Toluca	10	6	4619	23,2	198,7
Silla de Caraccas	10	37	2603	13,7	189,8
Fuerta de la Cuchilla	10	33	1512	8,5	177,8
Guadaloupe	4	36	3287	16,9	194,4
Pichincha	0	14 s.	4679	27,7	197,8
Chimboraço	1	28 s.	5876	19,1	201,9
Pico di Tenerifla	28	17	3704	20,1 19,0	184,2 194,9
			Mittel	—	191,4

Im Mittel giebt dieses also 98 Tois. auf 1° C. Beim Ersteigen des Pico di Teneriffa fand v. Humboldt[3] 94 T. für 1° C. nach andern Beobachtungen aber 96,8 T. und für steile Berge überhaupt rechnet er[4] im Mittel 96 Tois. für 1° C.

3. Die Lage der Beobachtungsörter rücksichtlich ihrer geographischen Breite kommt gleichfalls in Betrachtung, giebt indeſs nicht so bedeutende Unterschiede und fällt sehr mit den Bedingungen der Jahreszeit zusammen, in welcher die Messungen angestellt werden, so daſs ich nicht wage, hierüber ein allgemeines Gesetz aufzustellen. De Saussure[5] fand in den

1 Vergl. *Schneegrenze* Nr. 7.
2 G. XXXI. 365.
3 Reis. d. Ueb. I. 208. G. XXIV. 28.
4 J. d. Ph. LXVI. 425.
5. Voyag. cet. §. 2226.

Schweizeralpen vermittelst der Thermometer, welche er in verschiedenen Höhen in die Erde senkte, um den Einfluss der täglichen Veränderungen verschwinden zu machen, dass ohngefähr 60 bis 80 Tois., im Mittel etwa 77 Tois. Erhebung für 1° C. gehören. Auf den höchsten schneefreien Alpen fand derselbe mit Ramond 88 T. für 1° C. Dalton[1] erhielt bei seinen Versuchen auf den Bergen in Nordengland 68 Tois. auf 1° C. für die Zeit, wenn die Erde den höchsten Grad ihrer Erwärmung erreicht hatte, welche Bestimmung allerdings unter die niedrigern gehört, und kaum zu irgend einer bisher angenommenen Regel passt. Aus denjenigen Schlüssen nämlich, welche v. Zach[2] auf die Absorption der Lichtstrahlen durch die Atmosphäre und die Resultate der beobachteten Strahlenbrechung gründet, muss man vielmehr folgern, dass die Wärme in höheren Breiten langsamer abnimmt, als in niederen. D'Aubuisson[3] hat viele an verschiedenen Orten angestellte Beobachtungen verglichen, woraus aber keineswegs so übereinstimmende Resultate folgen, als v. Humboldt gefunden hat. Dahin gehören unter andern diejenigen, bei denen zugleich die Tagszeiten, in denen sie gemacht wurden, bemerkt sind.

Beobachtungsörter	Höhen in M.	Zahl d. Beob.	Stunde	Höhe in M. für 1° C.
St. Bernhard u. Paris	2430	50	12	162
— — — Turin	2222	51	12	138
— — — —	—	24	11	134
— — — —	—	24	8	161
— — — —	—	24	4	136
— — — Aosta	1409	45	12	140
— — — —	—	37	8	143
— — — —	—	26	4	134
Monte Gregorio u. —	1708	10	12	151
		Mittel	—	147

Das Mittel hieraus giebt also nur 75,42 Tois. für 1° C. Aus einer andern Zusammenstellung[4] findet derselbe 149 Met. oder 76,5 T. Die Abweichungen der einzelnen Bestimmungen sind

1 Mem. of the lit. and phil. Soc. of Manchester. IV. 104.

2 Mon. Cor. XXI. 113.

3 Journ. de Ph. LXXI. 35.

4 Traité de Geog. I. 439.

weit gröſser als in den durch v. Humboldt angegebenen, welches indeſs keineswegs gegen ihre Genauigkeit entscheidet. Auch bei derjenigen Zusammenstellung von Beobachtungen unter verschiedenen Breitengraden, welche durch Cotte[1] mitgetheilt ist, findet das Nämliche statt.

4. Da es überflüssig seyn würde, die Zahl der Beobachtungen zu häufen, wenn sie nicht zur weiteren Aufklärung der Sache dienen, so wähle ich nur diejenigen, aus denen anderweitige Bedingungen des allgemeinen Gesetzes folgen. Schon aus den angegebenen ergiebt sich, daſs auch die Tagszeiten einen Einfluſs auf die Höhen haben, welche gleichen Temperaturdifferenzen zugehören. Bei den Beobachtungen zwischen dem St. Bernhard und Turin und auch diesem Berge und Aosta sind die Höhen am Morgen um 8 Uhr am stärksten, noch auffallender aber zeigen sich diese um die nämliche Zeit gröſser bei den Angaben, welche wir de Saussüre[2] verdanken. Dieser beobachtete nämlich auf dem Col de Géant sechzehn Tage lang im Monat Juli in einer Höhe von 3400 Metern, woraus folgende Höhenunterschiede für 1° C. hervorgehen.

Stunden		Höhen	Stunden		Höhen
Mitternacht	—	171 Met.	Mittag	—	148 Met.
2 Uhr	—	189 —	2 Uhr	—	140 —
4 —	—	210 —	4 —	—	142 —
6 —	—	195 —	6 —	—	141 —
8 —	—	180 —	8 —	—	143 —
9 —	—	160 —	10 —	—	157 —

Das Mittel aus allen giebt 158 Met. Höhe für 1° C. oder 81,1 Toisen. Daſs diese constante Erscheinung auf ein Naturgesetz gegründet seyn müsse, kann hiernach nicht anders als wahrscheinlich werden, indeſs scheint es mir hier nicht der Ort zu seyn, auf eine Untersuchung desselben einzugehen[3]. De Saussüre glaubt insbesondere auf diese Beobachtungen eine andere Folgerung bauen zu dürfen, welche durch anderweitige theore-

1 J. de Ph. LXVIII. 132 u. 222.

2 Voy. §. 2050. Vergl. d'Aubuisson a. a. O. p. 437.

3 Vergl. unten *Theorie*. E. e. 3. Uebrigens hat schon v. Zach aus der gröſseren Strahlenbrechung am Morgen gefolgert, daſs um diese Tagszeit die Wärmeabnahme geringer seyn müsse. S. Mon. Cor. XXI. 115.

tische Gründe nicht wenig unterstützt wird, worüber aber im Allgemeinen schwer zu entscheiden ist. Er glaubt nämlich, dafs die täglichen Unterschiede der Temperaturen mit den Höhen stets mehr abnehmen, und endlich ganz verschwinden, ja dafs sogar auch die jährlichen Unterschiede in unerreichbaren Höhen von 12 bis 14000 Metern oder mindestens in der doppelten Höhe nicht mehr existiren, während sie in unseren Breiten an der Erdoberfläche gegen 50° betragen. Auf nicht allzuhohen Bergmassen bestätigt dieses zwar die Erfahrung nicht, denn wenn anders die Angaben richtig sind, so hat man auf dem Hospitium des St. Bernhard, also in 7680 F. Höhe + 17° und — 27° R. beobachtet[1], welches eine Differenz von 55° C. giebt, und RAMOND[2] schätzt den Unterschied der höchsten und niedrigsten Temperatur auf dem Pic du Midi bei 1500 T. Höhe nach seinen Beobachtungen etwa 45° C.; allein DE SAUSSÜRE gesteht auch zu, dafs dieses Verschwinden der täglichen und jährlichen Differenzen auf Bergen nicht so leicht erfolgt, als in freier Luft, wie aus später vorkommenden Gründen leicht erklärlich ist. Wenn man aber annimmt, dafs der Wechsel der Temperaturen hauptsächlich eine Folge des Aufsteigens der an der Erdoberfläche erwärmten Luftschichten ist, der Einflufs derselben aber mit zunehmenden Höhen verschwinden mufs, so wird man hierdurch geneigt, der Hypothese DE SAUSSÜRE's beizupflichten. Noch bestimmter als dieser Gelehrte erklärt sich auch v. ZACH[3] in Folge verschiedener, allerdings nicht absolut begründeter Thatsachen dahin, dafs die Temperatur der Atmosphäre in 5693 T. Höhe über der ganzen Erde gleich sey.

5. Hiermit in unmittelbarem Zusammenhange stehend und auf ähnlichen Gründen beruhend ist der Einflufs der Jahreszeiten, wie D'AUBUISSON's correspondirende Beobachtungen in Genf und dem Hospitium des St. Bernharnd während des Jahres 1818 darthun[4]. Die hiernach für 1° C. Temperaturdifferenz erhaltenen Höhen sind zwar wegen der Lage des Thermometers am oberen Beobachtungsorte etwas zu grofs, allein dieser

1 Hesperus oder encyklopädische Zeitung von ANDRÉ. XXVII. 99.
2 Ferrüssac Bullet. des Sc. math. 1826. Mai. p. 350.
3 Mon. Cor. XXI. 119.
4 Traité de Géog. I. 437.

somit constante Fehler benimmt ihnen die Beweiskraft rücksichtlich der hier zu beantwortenden Frage nicht.

Monate		Höhen	Monate		Höhen
Januar	—	221 Met.	Juli	—	142 Met.
Februar	—	214 —	August	—	149 —
März	—	219 —	September	—	164 —
April	—	211 —	October	—	241 —
May	—	222 —	November	—	201 —
Juni	—	210 —	December	—	246 —

Im Mittel aus allen folgen 203 Met. oder 104 T. für 1° C. Eben deswegen meint auch de Saussüre nach einer im Allgemeinen richtigern Angabe, dafs im Mittel für den Sommer 156 Met. = 80 T. für den Winter dagegen 184 Met. = 94,4 T. zu rechnen seyen. Man sieht indefs bald, dafs es nach theoretischen Gründen sowohl als auch nach der Erfahrung hierbei sehr auf den Eintritt und die Dauer der Sommerwärme und der Winterkälte ankomme. Uebrigens nennt es auch v. Humboldt[1] eine den Gebirgsbewohnern bekannte Erfahrung, dafs der Unterschied der Temperatur auf den Bergen und in Thälern im Winter geringer ist, als im Sommer, und nach Svanberg's Messungen soll in hohen Breiten die Wärmeabnahme gleichfalls geringer seyn, als in niederen[2]. Letzteres stimmt zwar nicht mit Dalton's oben Nr. 3 angegebenen Resultaten überein, allein theils ist die von diesem erhaltene Bestimmung überhaupt sehr klein, theils wird ausdrücklich dabei hinzugesetzt, dafs sie nur für diejenige Zeit gelte, wenn die Oberfläche der Erde am stärksten erwärmt, folglich die Höhe bis zu den kälteren Luftschichten am kleinsten ist, endlich kann auch eine Ursache der Abweichung dieser in England erhaltenen Resultate von den sonst gewöhnlichen in einer Eigenthümlichkeit jenes Landes liegen, wovon weiter unten die Rede seyn wird.

6. v. Humboldt[3] bemerkt mit Recht, dafs auch der Boden, auf welchem die zu untersuchenden Luftschichten ruhen,

1 G. XXXI. 381.

2 Nach v. Humboldt a. a. O. S. 386. wird die Wärmeabnahme bei der strengsten Kälte nur um 0,2 geringer, die mittlere Wärmeabnahme des ganzen Jahres aber ist eine Function der mittleren Temperaturen der verschiedenen Zonen, und verlangsamt sich daher vom Aequator nach den Polen hin.

3 G. XXXI. 362.

und durch welchen die Erwärmung gröſstentheils bewirkt wird, die Wärmeabnahme bei zunehmender Höhe bedinge, und PRECHTL[1] findet hierin eine Ursache der Variationen der Schneegrenze unter gleichen geographischen Breiten. Allerdings muſs die Wärme langsamer abnehmen über dem Meere und über einer mit Schnee bedeckten Ebene, als über pflanzenlosen Wüsten, dagegen schneller über dem Abhange eines kegelförmigen Berges, als über einer Cordillere mit groſsen, terrassenförmigen Plateaus. Eine Ausnahme von dieser, übrigens vollkommen richtigen, Behauptung, oder mindestens eine Einschränkung derselben, findet dann statt, wenn die erwärmten Luftschichten während mehrerer Stunden von einem durch den Einfluſs der Sonnenstrahlen stark erhitzten Boden aufgestiegen sind, letzterer aber durch irgend eine Ursache wieder erkaltet ist.

7. Endlich zeigt PRECHTL[2] nicht bloſs im Allgemeinen, sondern auch speciel aus den durch GAY-LÜSSAC bei seinem Auffluge erhaltenenen Resultaten, daſs die individuelle Beschaffenheit der Luftströmungen und Winde eine Modification der Wärmeabnahme in zunehmenden Höhen herbeiführen müsse. Man begreift leicht, daſs solche Luftströmungen, desgleichen das lothrechte Aufsteigen erwärmter Luftschichten bei nachfolgender Abkühlung des Erdbodens und der ihn unmittelbar berührenden Luftschichten sogar eine mit der Höhe wachsende Temperatur erzeugen kann. Indem Letzteres aber nur als eine partielle und ausnahmsweise statt findende Erscheinung zu betrachten, das Ganze aber an sich klar ist, so bedarf es keiner weiteren Erläuterung.

8. Bisher habe ich diejenigen Bestimmungen nicht erwähnt, welche rücksichtlich der mit den Höhen abnehmenden Temperatur vermittelst aërostatischer Versuche erhalten wurden. Diese sind zwar nichts weniger als zahlreich, allein die durch GAY-LÜSSAC[3] erhaltenen dürfen neben ihrem groſsen Umfange und der bedeutenden Höhe, bis zu welcher sie reichen, auf einen so ausgezeichneten Grad der Genauigkeit Ansprüche machen, daſs sie nicht bloſs erwähnt werden müssen, sondern später auch als vorzüglicher Maſsstab der Vergleichung dienen können. Hier

---

1 G. LXXVI. 261.

2 a. a. O. S. 263.

3 Ann. Chim. LII. J. d. Ph. LXXI. 35. Journ. des Mines XXIV.

mögen daher nur folgende allgemeine Angaben genügen. Gay-Lüssac erhielt nämlich für die ganze von ihm erreichte Höhe von 7000 Metern unter der Voraussetzung einer gleichmäſsigen Abnahme der Temperatur 173 Met. oder 88,76 T. auf 1° C. Zugleich aber fand er von der Oberfläche der Erde an gerechnet bis zu einer Höhe von 3691 Met. 191 Met. = 98 T., von dieser Höhe bis zu 7000 Met. dagegen 141 Met. = 72,34 T. für 1° C. und von 5000 bis 7000 M. rechnet er nur 134 M. oder 68,76 T. auf die nämliche Temperaturdifferenz.

Die Beobachtungen anderer Aëronauten sind entweder überhaupt sehr unbestimmt, oder erreichen mindestens die angegebenen keineswegs an Genauigkeit, weswegen ich nur einige derselben benutze. Graham und Beaufoy bei ihrem aërostatischen Auffluge am 17ten Juni 1824 haben zum Theil das Gegentheil dieser Resultate erhalten, zum Theil dieselben bestätigt gefunden. Sie beobachteten nämlich

Bar. 29,8 Z. eng. Therm. $14\frac{4}{9}$ R. Bar. 25,5 Z. eng. Therm. $5\frac{7}{9}$ R.
— 23,3 — — — $3\frac{1}{9}$ — — 19,3 — — — 0 —

Werden nach diesen Angaben die Höhen nahe genau berechnet, so kommen auf die untere Station etwa 62 Tois. Höhe auf 1° C. Wärmeabnahme, auf die zweite 112 T. und auf die dritte 111 T. für eine gleiche Temperaturdifferenz, im Mittel etwa 95 T. auf 1° C. Die erste Angabe kommt mit Dalton's oben angegebener Bestimmung überein, das mittlere Resultat übertrifft das von Gay-Lüssac gefundene, welches wegen höherer Breite als der Regel gemäſs angesehen werden kann, allein der Unterschied der ersten Station und der beiden folgenden ist so bedeutend, daſs er nothwendig aus örtlichen Bedingungen abgeleitet werden muſs[1].

Die Beobachtungen des russischen Akademikers Sacharow[2] bei seinem aërostatischen Auffluge mit Robertson stehen an Genauigkeit und Schärfe den durch Gay-Lüssac erhaltenen sehr nach, und werden daher von den Physikern meistens ganz übersehen. In wie fern Sacharow von seinem ganz unwissenschaftlichen Begleiter gar keine Unterstützung erhalten konnte, vielmehr durch die possenhaften Grillen desselben eigentlicher gestört werden muſste, hat Gilbert genügend gezeigt, und

1 Vergl. Nr. 10.
2 G. XX. 107.

es geht dieses auch ziemlich deutlich aus dem Berichte selbst hervor. Unter allen Beobachtungen waren aber die des Barometers und Thermometers die leichtesten, und ich nehme daher keinen Anstand, diese für den vorliegenden Zweck mit hinlänglich genäherter Schärfe zu berechnen. Wird dann nach den vorhandenen Wahrscheinlichkeitsgründen vorausgesetzt, dafs das gebrauchte Thermometer achtzigtheilige Grade zeigte, so erreichte der Aërostat eine absolute Höhe von 7998 F. oder 1333 Tois. und eine Temperaturdifferenz von 14°,5 R., wonach 92 T. auf 1° R. kommen. Dieser mittlere Werth ist aber auf die einzelnen Stationen sehr ungleich vertheilt, und es zeigt sich insbesondere eine weit schnellere Abnahme der Temperaturen als der Höhen, wie folgende Uebersicht beweiset.

Beob.	Barom. Stand in franz. Mafs	Thermom. Stand	Höhe in par. Fufs	Höhe in Tois.	Höhe für 1° R. in T.
Nr. 1	28 Z. 1,8 L.	19°,0	000	000	0000
2	27 Z. 2,47 —	18,0	915	152	152,0
3	26 Z. 3,47 —	17,0	1833	306	153,0
4	25 Z. 4,24 —	15,0	2796	466	80,5
5	24 Z. 5,00 —	14,5	3781	630	246,0
6	23 Z. 5,90 —	13,0	4789	799	112,0
7	22 Z. 6,74 —	9,0	5834	973	43,5
8	21 Z. 7,60 —	6,5	6901	1150	71,0
9	20 Z. 8,48 —	4,5	7998	1333	92,5

Werden die hierin vorhandenen Fehler nach Wahrscheinlichkeitsgründen corrigirt, so kommen auf die ersten 300 Tois. für 1° R. 153 T., für die zweiten 300 T. kommen 160 T. auf 1° R. als Folge der von der Ebene an einem heifsen Tage, d. 30sten Juni bis Abends 7 Uhr aufgestiegenen heifsen Luftschichten, für die dritten 300 T. 135 T. auf 1° R. und für die letzten 300 T. etwa 85 bis 90 T.; im Mittel für die ganze Höhe, wenn man auf das allgemeine Sinken des Thermometers während der Dauer der Fahrt Rücksicht nimmt, etwa 96 bis 98 T.

9. Aus diesen letzten Betrachtungen, insbesondere aus Gay-Lüssac's sehr entscheidenden Versuchen geht unverkennbar das Resultat hervor, dafs die Höhen, welche gleichen Unterschieden der Temperatur zugehören, über der Oberfläche der Erde gröfser sind, als in weiterer Entfernung von derselben. Eben dieses fand indefs schon v. Humboldt[1] beim Ersteigen

1 G. XXIV. 35.

des Chimboraço, indem er für die untern 9780 F. 133 T. für die oberen 8292 F. aber 88,5 T. für 1° C. rechnet und die Ursache dieser Erscheinung in der Wärmestrahlung findet. Aehnliche Erfahrungen machte er an verschiedenen andern Orten. D'Aubuisson leitet aus den zahlreichen Beobachtungen v. Humboldt's folgende unregelmäfsig wachsende Höhen ab, welche einer gleichen Temperaturdifferenz von 1° C. zugehören sollen.

Vom Spiegel des Meeres bis 1000 Met.	. .	87,22 Tois.
— 1000 M. . . . — 2000 —	. .	150,80 —
— 2000 — . . . — 3000 —	. .	119,00 —
— 3000 — . . . — 4000 —	. .	67,21 —
— 4000 — . . . — 5000 —	. .	92,30 —

Hiernach fände also zuerst eine geringe Höhe, dann eine bedeutende Vergröfserung derselben, dann wieder eine Abnahme und endlich wieder eine Zunahme statt. Dafs dieses indefs als allgemeines Naturgesetz anzusehen seyn sollte, ist auf keine Weise wahrscheinlich. D'Aubuisson selbst ist dieser Meinung nicht, sondern glaubt, dafs ungeachtet der grofsen Unsicherheit und der aufserordentlichen Schwankungen in den einzelnen Bestimmungen dennoch die gesammte Masse der Beobachtungen der Annahme einer arithmetischen Reihe der Wärmeverminderung eben so gut zusagt, als jeder andern. Auch v. Humboldt[1] ist der Meinung, dafs im Allgemeinen die mit der Höhe abnehmende Wärme eine arithmetische Reihe befolge, und von dieser Regel nur dann abweiche, wenn örtliche modificirende Bedingungen vorhanden sind. Playfair[2] nimmt diesen Satz nur bedingt an, indem er sagt, dafs unter der Voraussetzung, die Ursache der Wärmeabnahme liege allein in der Entfernung von der Erde, und es fänden keine aufwärts steigende Luftströmungen statt, welche nach ihm wirklich nicht existiren sollen, die Verminderung der Temperatur dem Abstande vom Centro der Erde direct proportional seyn würde.

Auf die Voraussetzung, dafs die Wärmeabnahme den Zunahmen der Höhen direct proportional sey, hat Leslie[3] eine

1 G. XXXI. 388.

2 Outlines of Nat. Phil. cet. Edinb. 1814. I. 251. Vgl. Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. VI. 365.

3 Elements of Geometrie. 2d. ed. p. 495. Vergl. Edinb. Journ. of Science. N. IX. 96. Eine andere auf theoretischen Gründen beruhende Formel s. unten E. b. 3.

allgemeine Formel gegründet, um aus dem Unterschiede der Barometerstände an zwei Stationen die zugehörige Differenz der Temperatur zu berechnen. Sie beruhet auf dem durch Playfair gegebenen analytischen Ausdrucke zum Messen der Höhen vermittelst des Barometers, und der von eben diesem herrührenden Bestimmung, dafs den Erfahrungen nach 81 Fathoms Erhebung 1° C. Wärmeabnahme geben sollen, wonach dann der Unterschied der Temperatur

$$\Delta t = 26\left(\frac{B}{b} - \frac{b}{B}\right)$$

für die Barometerstände B und b in Graden der Centesimalscale gefunden wird. Th. Young meint, die Temperaturen nehmen schneller ab als die Höhen, und beruft sich dabei auf v. Humboldt's Erfahrungen; allein Ivory sucht darzuthun, dafs Ramond im Mittel 90 Fathoms für 1° C. gefunden habe, und da aus der sehr grofsen, durch Gay-Lüssac erreichten Höhe eine Temperaturdifferenz von 1° C. für 95 Fathoms folge, so ergebe sich hieraus gerade das Gegentheil[1].

10. Die Uebersicht der bisher mitgetheilten zahlreichen, aus den verschiedensten Versuchen entnommenen Bestimmungen ergiebt augenfällig, dafs die Frage über die Reihe, welche die Wärmeabnahme bei zunehmenden Höhen befolgt, schwerlich auf diesem Wege mit völliger Sicherheit bestimmt werden wird. Im Ganzen entscheiden indefs die meisten dafür, dafs die Höhen, welche gleichen Temperaturunterschieden zugehören, mit der Entfernung von der Erdoberfläche abnehmen, zur Bestimmung des eigentlichen, hierüber aufzustellenden Gesetzes sind aber noch weitere, unter folgende theoretische Untersuchungen erforderlich. Im Ganzen wird man sich indefs wenig von der Wahrheit entfernen, wenn man mit gehöriger Rücksicht auf die bedingenden Umstände für die auf Bergen zu erreichenden Höhen eine *arithmetische Reihe der Wärmeabnahme für gleiche Höhenunterschiede* annimmt. Nicht minder schwierig ist es zugleich, einen mittleren Werth derjenigen Höhe zu finden, welche einer gegebenen Temperaturdifferenz, etwa von 1° C., zugehört, indem die Uebersicht der verschiedenen Beobachtungen kaum eine solche allgemeine Bestimmung gestattet. Aufser den schon mitgetheilten mögen daher noch folgende allgemeine

1 Phil. Mag. 1825. Aug. p. 86.

Angaben dienen, die man vorkommenden Falls benutzen kann. v. Humboldt[1] folgert aus allen seinen zahlreichen Beobachtungen zwischen den Wendekreisen, dafs 109 Tois. auf 1° R., also 87,2 T. oder 170 Met. auf 1° C. zu rechnen sind. Nach Pictet[2] dagegen folgt aus einer grofsen Reihe von Beobachtungen zu Genf und auf dem Hospitium des St. Bernhard bei einem Höhenunterschiede von 1075 Toisen und einer mittleren Temperaturdifferenz von 8°,18 R., dafs 131,4 T. auf 1° R. oder 105,1 T. = 204,8 Met. für 1° C. gehören. Eine dieser Bestimmung genäherte, nämlich 100 T. oder 200 Met. für 1° C. pafst wohl am besten für mittlere Breiten und mäfsige Erhebungen auf grofsen Bergmassen, wenn man das Mittel zwischen Sommer- und Winterbeobachtungen verlangt, oder man müfste jene Gröfse für den Winter rechnen, und de Saussüre's Angabe gemäfs für den Sommer 100 T. für 1° R., also 80 T. = 156 Met. auf 1° C. rechnen. Hiermit stimmt d'Aubuisson überein, welcher im Mittel 160 Met. = 82,1 Tois. für 1° C. annimmt.

v. Zach[3] folgert aus den beobachteten, und nach La Place's Methode berechneten, horizontalen Strahlenbrechungen für den Aequator nur 65 T., für unsere Breiten aber 89 T. Höhe auf 1° C. Temperaturdifferenz.

Auch Ramond[4] erhielt als Mittel aus zahlreichen Beobachtungen nahe 100 T. für 1° R., also 80 T. = 156 Met. für 1° C. Wenn die Engländer meistens geringere Höhen angeben, wie schon oben aus Dalton's Bestimmung hervorgeht, so liegt die Ursache hiervon vielleicht darin, dafs die etwas höhere Temperatur jenes Landes mit den Erhebungen über die Oberfläche der Erde aufhört. Playfair[5] nämlich nimmt nur 76 T. für 1° C. an, und Atkinson[6] aus einer Menge von Beobachtungen nur etwa 60 T. für die nämliche Temperaturdifferenz.

11. Wäre es möglich, ein genähertes Mittel aus den Beobachtungen zu erhalten, so würde folgen, dafs die Wärme vom

---

1 Reis. d. Ueb. II. 492.
2 Bibl. univ. X. 173. XIV. 19.
3 Mon. Cor. XXI. 113.
4 Sur la Formule barometrique. cet. Par. 1811. p. 184.
5 Outlines. cet. I. 251.
6 Brewster's Journ. N. VII. 180.

Aequator an gerechnet nach den Polen hin auf gleiche Weise abnehmen muſs, als wenn man sich unter dem Aequator befindlich zu einer angemessenen lothrechten Höhe erhebt, und man kann also von dort aus durch ein solches Aufsteigen zu allen Temperaturen gelangen, welche die Erdoberfläche darbietet. D'AUBUISSON[1] nimmt als Mittel aus den verschiedenen Beobachtungen an, daſs eine Erhebung von 100 Metern mit einer Vermehrung der Breite von einem Grade rücksichtlich der Temperaturverminderung correspondirt, wobei sich von selbst versteht, daſs nur von einer genäherten Bestimmung die Rede sey. Abgesehen von dieser Ungewiſsheit hat v. HUMBOLDT[2] seine oben erwähnte graphische Darstellung der isothermischen Linien sehr sinnreich mit einer ähnlichen verbunden, welche die Abnahme der Wärme bei zunehmender Höhe versinnlicht. Indem aber die Figur für sich verständlich ist, so übergehe ich eine weitere Erläuterung derselben, und bemerke nur, daſs hiernach der Nullpunct der mittleren Temperatur in 55° N. B. fällt, welches für die Erdoberfläche im Ganzen aus dem oben (C. 4.) angegebenen Gründen gewiſs weit richtiger ist, als wenn man die Temperatur Norwegens zur Regel annimmt. v. HUMBOLDT wählt aber eigentlich für seine Darstellung denjenigen Meridian, unter welchem die Cordilleren liegen, uud so ist seine Bestimmung wohl ohne Zweifel richtig[3].

Fig. 181.

b. Schneegrenze.

Indem die Wärme mit den Höhen abnimmt, so muſs es nothwendig eine Grenze in der Atmosphäre geben, wo die mittlere Temperatur = 0 ist, und wenn man dann ferner annimmt, daſs über diese Grenze hinaus die Menge des Winterschnees im Sommer nicht zu schmelzen vermöchte, insbesondere weil bei den mit der Höhe, abnehmenden Differenzen der täglichen und jährlichen Temperatur die Veränderungen dort sich nicht weit vom Gefrierpuncte entfernen würden, so muſs es in einer gewissen Entfernung über der Erde eine Grenzfläche geben, wo beständiger Schnee anzutreffen ist, und diese nennt man die Schneegrenze. Es ist ferner an sich klar, daſs die von v. HUM-

1 Traité de Geog. I. 432.

2 Mém. de la Soc. d'Arcueil T. II. Ann. Ch. P. T. V.

3 Mehreres hierüber s. unter *Schneegrenze.*

BOLDT angegebene äufserste isothermische Linie, welche der mittleren Temperatur von 0° zugehört, unter der angegebenen Voraussetzung diese Grenze bezeichnen muſs, und wird dann ferner angenommen, daſs die mittlere Temperatur unter denselben Graden der Breite und das Gesetz der mit der Erhebung über die Erdoberfläche abnehmenden Wärme überall gleich sey, so würde die elliptisch gekrümmte Grenzfläche des ewigen Schnees die Erde so umgeben, daſs sie unter dem Aequator in einer Höhe etwa von 5200 Meter anfangend sich nach den Polen zu herabsenkte, und in 50° der nördlichen und südlichen Breite in den Erdkörper einschnitte [1]. Allein es geht schon aus den vorigen Betrachtungen genugsam hervor, daſs hierbei verschiedene Voraussetzungen angenommen sind, welche in der Wirklichkeit nicht statt finden, und der Verfolg der Untersuchungen wird ergeben, daſs ein festes Gesetz für die Höhe der Schneegrenze wegen vielfacher örtlicher Einflüsse nicht aufzufinden ist.

Fig. 181.

1. Die Schneegrenze liegt nicht in derjenigen Höhe, deren mittlere Temperatur $=0$ ist, sondern meistens höher, und zwar um so viel mehr, je weiter man nach den Polen kommt. Die Ursache hiervon ist leicht aufzufinden. Soll sich nämlich der Schnee bleibend erhalten, so ist es nicht hinreichend, daſs die mittlere Temperatur $=0$ sey, sondern die Wärme des Sommers muſs die mittlere Temperatur so wenig übertreffen, daſs sie denselben zu verzehren nicht vermag. Es muſs daher die Schneegrenze derjenigen Höhe, deren mittlere Temperatur $=0$ ist, so viel näher liegen, je weiter man sich von der Erdoberfläche erheben muſs, um an diesen Punct der Höhe zu gelangen, weil mit zunehmender Höhe die täglichen und jährlichen Differenzen nebst den Ursachen örtlicher Erwärmungen mehr verschwinden. Auſserdem aber wird mit zunehmenden Breiten die Schnee-

---

1 KIRWAN's unzulässige Annahme in: On the Variations of the Atmosphere. Dublin 1801. Ch. III. Sect. I. mag hier nur historisch erwähnt werden. Er setzt die Schneegrenze unter dem Aequator in 28000 engl. F., unter dem Pole in 3432 F., und bestimmt sie hiernach für alle Grade. Dividirt man die jedesmalige Höhe der Schneegrenze durch 100, so erhält man die Zahl der Schichten, deren Temperatur und Temperaturunterschiede leicht zu finden sind, da die Temperatur der Schneegrenze der Eispunct seyn soll. Indeſs soll dieses bloſs für den Sommer gelten, indem im Winter wärmere Luftschichten vom Aequator nach den Polen strömen. In wie fern das Ganze unhaltbar sey, ergiebt sich aus dem im Texte Gesagten.

grenze weiter über die Höhe der mittleren Temperatur von 0° C. hinaufgerückt werden, weil dort die längere Dauer der Tage die Sommerwärme ausnehmend vermehrt [1]. Hieraus ist es erklärlich, dafs nach v. Humboldt die Schneegrenze unter dem Aequator schon bei 0°,4 C., in gemäfsigten Zonen nach Pictet [2] bei —4°,6 C. und in den nördlichen nach Humboldt [3] erst bei —6° C. mittlerer Temperatur anfängt. Wird hiernach die oben erwähnte isothermische Höhen-Linie von 0° corrigirt, und rechnet man zwei Grade der Breite auf einen Grad der Temperaturverminderung, so kommt die Schneegrenze unter dem Aequator in 5200 Met. zu liegen, und schneidet auf beiden Halbkugeln in etwa 67 bis 70° der Breite ein. Hiermit kommt das Resultat von Cotte's [4] gehaltreichen Untersuchungen überein, wonach dieselbe auf der nördlichen Halbkugel in 70°, auf der südlichen aber in 65° der Breite die Erdoberfläche berührt.

2. Diejenige Temperatur, welche man in England, Norwegen und überhaupt in denjenigen nördlichen Gegenden beobachtet hat, welche unter und in der Nähe der Meridiane von Paris und Berlin liegen, können (nach C. 4.) keine Regel bilden, sondern müssen als Ausnahme gelten; man kann darauf kein allgemeines Gesetz gründen. Es ist daher nicht genau richtig, wenn Bedemar [5] meint, die Schneegrenze weiche um so vielmehr von ihrer Normalhöhe ab, je weiter man sich nach Norden entferne, denn die Beobachtungen in der Hudson's-Bay, auf Melville Island, am Ausflusse des Mac-Kenzie Flusses u. s. w. stimmen mit der Regel recht gut überein, nur die in Norwegen, auf Island und Spitzbergen nicht, welche aber als Ausnahmen gelten müssen.

3. Oertliche Einflüsse, insbesondere sehr grofse Bergmassen, ausgedehnte und hohe Bergebenen u. s. w. bedingen die die Höhe der Schneegrenze und rücken dieselbe weiter hinauf. Hieraus erklärt sich, warum dieselbe auf den Himlaya-Gebirgen und dem Kaukasus höher liegt, als unter gleichen Parallelen. Ob auch die Hochebenen Asiens und die Wüsten Africa's einen

---

1 Vergl. *Temperatur; isothermische Linien.*

2 G. XXV. 318.

3 Ann. Ch. Ph. XIV. 19.

4 J. d. Ph. LXVIII. 132. u. 222.

5 Reisen I. 242.

ähnlichen Einfluſs äuſsern, wie mindestens rücksichtlich der ersteren höchst wahrscheinlich ist, läſst sich aus Mangel an Beobachtungen nicht mit Sicherheit angeben.

4. Die Beobachtungen der verschiedenen Höhen, wo man die Schneegrenze wirklich angetroffen hat, sind mit einer seltenen Vollständigkeit zusammengestellt durch HÄLLSTRÖM[1], weswegen ich diese hier mit den daselbst angegebenen Quellen mittheile. Man wird indeſs bald inne, daſs nach seiner Darstellung die Linien der Schneegrenze von America's und von Asien's hohen Gebirgsmassen ausgehend sich in der Hauptsache über den Schweizeralpen vereinigen, und dann über Norwegen hinlaufen, also gerade durch diejenigen nördlichen Gegenden, wo die isothermischen Linien am höchsten sind[2].

Oerter	Breiten	Höhen in F.	Beobachter
Cotopaxi *	von 1° 28′ S. bis 0° B.	15228	v. HUMBOLDT[3]
Antisana *		14958	
Chimboraço *		14826	
Rucu-Pichincha *		14760	
Nevado del Corazon *		14748	
Pichincha	0° 10′ s	14700	CONDAMINE[4]
Pichincha	0 0	14604	BOUGUER[5]
Quito	0 0	14760	v. HUMBOLDT[6]
Popayan	0 3 n	14580	v. HUMBOLDT[7]
Mexico	19 0	14100	v. HUMBOLDT[8]
Nevado Toluce	19 12	13776	v. HUMBOLDT[9]
Mexico —	20 0	14166	v. HUMBOLDT[10]

1 De Termino atmosphaerae terrestris nivali. Praes. Hällström, auct. Alcenius. Aboae 1823. 4.

2 Die Sternchen bei einigen Angaben beziehen sich auf eine unten folgende Bestimmung.

3 Ann. Ch. P. XIV. 1.

4 Journ. d'un Voy. à l'Équateur. Par. 1751. p. 48.

5 Figure de la Terre Par. 1749, in der beigefügten Voy. au Perou p. 49.

6 Essay sur la Géographie des Plantes. Par. 1807. p. 132.

7 Atlas géographique et phys. des Regions équinox. Par. 1814. Tab. 6.

8 Essay polit. sur le Royaume de la Nouv. Esp. Par. 1811. p. 45.

9 Recueil d'Observations astron. cet. Par. 1810. p. 329.

10 Essay sur la Géog. d. Plant. p. 133.

Oerter	Breiten		Höhen	Beobachter
Mexico Toluce	20°	0'	14100	v. Humboldt[1]
Himlaya *	30	0	11400	v. Humboldt[2]
Himlaya *	31	0	15660	
Altas *	31	0	11550	Ali - Bey[3]
Libanon *	33	0	9102	Wahlenberg[4]
Aetna *	37	33	9900	Saussüre[5]
Pic du Midi *	42	0	9036	Ramond[6]
Canigou	42	31	8718	Saussüre[7]
Pyrenaeen	42	45	8400	Humboldt[8]
Pic Long *			8700	Ramond[9]
Neuvielle *	43	0	8250	Ramond[10]
Elbrus	43	0	9882	Parrot[11]
Mont Perdu	43	0	8100	Wahlenberg[12]
Pyrenaeen *	45	0	7692	v. Humboldt[13]
Alpen	45	30	8520	L. Buch[14]
Alpen	45	30	8100	Saussüre[15]
Alpen *	46	0	8220	v. Humboldt[16]
Alpen	46	0	8220	Wahlenberg[17]
Carpathen	49	0	7998	Wahlenberg[18]
Carpathen *	49	10	7980	v. Humboldt[19]

---

1 Prolegomena de distribut. geogr. Plantarum. p. 139. G. XXV. 320.

2 Ann. Ch. P. XIV. 1. Nur genäherte Angaben.

3 G. Borg, Praes. Hällström de Term. atm. Terrae niv. Aboae 1823.

4 Ebend.

5 Voy. IV. 152.

6 Ann. Ch. P. II. 192.

7 Voy. IV. 150.

8 Proleg. de dist. geog. Plant. 122.

9 Ann. Ch. P. a. a. O.

10 Ebend.

11 Physik d. Erde. S. 174.

12 Bericht über Messungen und Beobachtungen zur Bestimmung der Höhe und Temperatur der Lappländischen Alpen, übersetzt von Hausmann. Gött. 1812. S. 59.

13 Prolegom. a. a. O.

14 G. XI. 48.

15 Voy. IV. 154. Bei einzelnen Bergspitzen giebt er 1400 T. bei grofsen Bergmassen 1300 T. an, wovon 1350 T. = 8100 F. das Mittel ist.

16 Ann. Ch. P. XIV. 1.

17 De vegetat. Helvet. XLIV.

18 Flora Carpath. Gott. 1814. p. LXXIII.

19 Ann. Ch. Ph. XIV. 1.

Oerter	Breiten		Höhen	Beobachter
Norwegen	60°	0	4800	L. Buch[1]
Suletind	61	0	5220	
Snöhätta	62	0	5600	Wahlenberg[2]
Norwegen	62	0	5400	L. Buch[3]
Eliasberg. Amer.	62	0	4600	Wahlenberg[4]
Svuckustöt. Norw.	62	12	5250	Hisinger[5]
Norwegen	62	30	4860	L. Buch[6]
Syltopp	63	0	4950	Hisinger[7]
Areskuta	63	26	4740	
—	—		4440	Hartmann[8]
Island	65	0	2896	Olafsen[9]
Schweden	66	30	4014	L. Buch[10]
Sulitelma	67	5	3100	Wahlenberg[11]
Valli. Schwed.	67	6	4100	
Talpa jegna. Norw.	67	20	3000	
Alten	70	0	3300	L. v. Buch[12]
Hammerfest	70	38	2502	
Nordcap	71	0	2202	

5. Es würde nicht schwierig seyn, wenn man wollte, die grofse Zahl der hier mitgetheilten Beobachtungen noch um nicht eben wenige zu vermehren. So wurde unter andern die Schneegrenze gefunden[13].

---

1 G. XI. 11.

2 Bericht üb. Mess. S. 58.

3 G. LV. 319. LXI. 373.

4 Bericht. S. 57.

5 Anteckningar i Physik och Geognosie under resor i Sverige och Norrige. Ups. 1819. St. 1. S. 21. St. 2. S. 45.

6 G. XI. 43.

7 a. a. O.

8 Wetenskaps Academiens Handlingar. Stockh. 1814. S. 107. 1818. S. 131.

9 G. XI. 37. XXIV. 319.

10 Ebend.

11 Bericht u. s. w. S. 26; 36; 48.

12 G. XI. 27; 32.

13 Ann. Chim. et Phys. XIV. 1.

Beob. Ort	Breite	Höhe	Beobachter
Purace	2° 17′	14484	v. Humboldt
Paramo de Guanacos	2 40	14280	derselbe
Popocatepetl	18 19	14226	v. Sonnenschmidt
Iztaccihuatl	19 10	14130	Alzate
Neu-Mexico	38 30	9180	Edwin James[1]
Mont-Perdu	43 0	7881	Parrot[2]
Maladetta Nordseite	42 45	8256	derselbe[3]
— Südseite	— —	9380	derselbe[4]

Es sind indefs der Thatsachen genug angegeben, um sich zu überzeugen, wie grofs der örtliche Einflufs auf die Höhe der Schneegrenze ist. Selbst die Lage der Höhen und ihre Richtung nach den Weltgegenden hat auf die Schneegrenze einen Einflufs und v. Welden[5] meint sogar, sie sey in verschiedenen Jahren verschieden. So fand er sie an der Südseite des Monte Rosa 9500 F. hoch, in Salzburg 8000 F. in Südtirol 8200 F. im Valteline 8500 F. am Simplon 8600 F. in Savoyen 8800 F. hoch.

Auch Parrot[6] fand in den Pyrenäen einen bedeutenden Unterschied zwischen der Nordseite und der Südseite, und setzt die Schneegrenze auf jener schwankend zwischen 7388 und 8000 P. F. auf dieser dagegen zwischen 8000 und 9236 P. F.

Dafs sie ferner in nördlichen Gegenden in sehr heifsen Jahren wirklich höher hinaufrücke, unterliegt wohl keinem Zweifel, auch nimmt man eine *untere* Schneegrenze an, wo der Schnee sich in einigen Jahren, und eine *obere*, wo er sich beständig erhält.

Dabei ist aber wohl zu berücksichtigen, dafs der Schnee durch die steigende Sommerwärme allmälig schmelzt, folglich wird man ihn in den ersten Sommermonaten noch an den Orten finden, wo er später verschwindet. Im Herbste dagegen fällt ebendaselbst am frühesten Schnee, und diese Zeit ist daher zur Bestimmung der Schneegrenze gleichfalls nicht geeignet. Parrot[7] glaubt deswegen der September sey der für

1 v. Humboldt Voyage. T. X. p. 97.
2 Naturwiss. Abh. aus Dorpat. I. 228.
3 Ebend. S. 273.
4 Ebend. S. 297.
5 Der Monte Rosa u. s. w. Wien 1824.
6 Naturwissenschaftl. Abhandl. aus Dorpat. Berl. 1823. I. 316.
7 a. a. O. S. 250.

diese Bestimmung in mittleren Breiten am meisten geeignete Monat, weil der Schnee, welcher sich dann noch vorfinde, der Einwirkung der Sommerhitze während ihrer ganzen Dauer zu trotzen vermöge.

Daſs dieses auch in solchen Höhen geschehen könne, wo die Lufttemperatur oft den Gefrierpunct übersteigt, ist daraus leicht erklärlich, daſs die Sonnenstrahlen von den Schnee- und Eislagen reflectirt werden, die Luft aber vermöge ihrer geringen relativen Wärme auf das Eis keinen bedeutenden Einfluſs haben kann.

6. Aus der Uebersicht dieser allerdings schätzbaren Zusammenstellung ergiebt es sich, wie mich dünkt, sehr klar, daſs die Abweichungen von einer festen Regel viel zu groſs sind, als daſs sich ein bestimmtes Gesetz darauf gründen lieſse. Inzwischen hat Hällström mit vieler Mühe eine allgemeine Formel aus allen angegebenen Beobachtungen entwickelt, mit Ausnahme derjenigen, welche mit einem Sternchen (*) bezeichnet sind. Er nennt nämlich die Höhe der Schneegrenze A, und setzt

$$A = a + b \text{ Sin. lat.} + c \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$$

Aus den Beobachtungen findet er mit Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate die beständige Gröſse $a = 2462,4$ Toisen und die Coëfficienten $b = 293$ und $c = -2501,8$, so daſs sonach

$$A = 2462,4 + 293 \text{ Sin. lat.} - 2501,8 \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$$

wird. Den wahrscheinlichen Fehler findet er dann $= 63,5$, und hält diese Fehlergrenze noch für zu groſs. Wenn man indeſs nicht selten Differenzen findet, welche mehr als 1000 F. betragen, so scheint die oben aufgestellte Behauptung, daſs ein allgemeines Gesetz auf die bekannten Beobachtungen zu gründen unmöglich sey, völlig gerechtfertigt. Hällström nimmt zugleich auf örtliche Einflüsse Rücksicht, und meint, daſs unter dieser Bedingung auch die im nördlichen America angestellten Beobachtungen und die auf den Himlaya-Gebirgen mit der Formel vereinbar wären. Nach Tob. Mayer hat man angenommen, die Schneegrenze berühre den Nordpol. Gay-Lussac[1] bemerkt mit Recht, daſs die neuesten Beobachtungen, namentlich von Scoresby, gezeigt hätten, daſs diese Annahme unzulässig sey, Hällström aber meint, daſs seine Formel, wonach die Schneegrenze 253,6 Toisen über den Pol erhaben seyn

1 Ann. Ch. Ph. XXVII. 435.

müfste, der Natur noch näher komme. Letzteres ist indefs den Beobachtungen durchaus zuwider, denn man kann auch für die günstigste Localität das Einschneiden der Schneegrenze in die Erdoberfläche nicht weiter hinaufrücken, als bis an die Nordspitze von Spitzbergen, also etwa unter den 80sten Grad der nördlichen Breite. Hällström meint ferner, dafs die oben angegebene Formel von Tob. Mayer für die mittlere Temperatur auch zur Bestimmung der Schneegrenze dienen könne; welches auch allerdings der Fall seyn müfste, wenn beide, sowohl die mittlere Temperatur als auch die Höhe der Schneegrenze durch das nämliche Gesetz der Wärmeabnahme bedingt wären. Nimmt man nämlich die Formel

$$y = m - n \text{ Sin.}^2 \text{ lat.}$$

und bestimmt die Temperatur, bei welcher die Schneegrenze anfängt, und deren Höhe über der Meeresfläche, so wird

$$y' = M y = M (m - n. \text{ Sin.}^2 \text{ lat.})$$

vorausgesetzt, dafs nach D'Aubuisson[1] die Wärme für 160 Meter Erhebung um 1° C. abnimmt, und setzt man die mittlere Temperatur unter dem Aequator = 27° C., so macht 160 × 27 = 4320 Met. als die Höhe der Schneegrenze unter dem Aequator. Weil aber die Schneegrenze durch den Einflufs der Berge und Bergebenen 3° C. unter 0° erfordert, so müssen 3 × 160 = 480 Meter, oder in runder Zahl 500 hinzugesetzt werden, wonach also

$$H = 4320 \text{ Cos.}^2 \text{ lat.} + 500$$

die Höhe der Schneegrenze in Metern giebt. Hällström benutzt ferner diejenigen Beobachtungen, womit auch d'Aubuisson seine Formel verglichen hat, und findet für die Höhe der Schneegrenze in Metern:

Beob. Ort	Beobachter	beobachtet	berechnet
Aequator	Bouguer	4800	4820
Wendekreis	Humboldt	4100	4133
Indien	Webb	3520	3527
Alpen	Saussüre	2700	2785
Polarkreis	L. Buch	1169	1160
70° N. B.	L. Buch	1060	1005

Allein man sieht bald, dafs hier gerade passende Beobachtungen ausgesucht sind, und d'Aubuisson gesteht selbst zu, dafs

1 S. oben.

wegen örtlicher Einflüsse kein allgemeines Gesetz aufzufinden sey. Nach dieser Formel würde übrigens die Schneegrenze vom Pole ohngefähr eben so weit abstehen, als nach Hällström's oben angegebener, weil sie die mittlere Temperatur am Pole = 0 annimmt.

Obgleich also hiernach keine allgemeine Construction der Schneegrenze möglich ist, so habe ich doch zur Versinnlichung diejenigen drei durch punctirte Linien angegeben, welche bisher erwähnt sind, nämlich diejenige, welche nach der allgemeinsten Gröfse der Erdwärme in 70° N. B. einschneidet, diejenige, welche etwa für den Meridian von Paris gehört, wenn man annimmt, dafs sie in 80° N. B. einschneidet, und diejenige, welche Hällström's Formel entspricht. Fig. 181.

7. Die auffallendsten Abweichungen von einer regelmäfsigen Höhe der Schneegrenze bieten die Beobachtungen im Kaukasus und noch weit mehr die auf den Himlaya-Gebirgen dar, und sie eignen sich allerdings zu einer besonderen näheren Erörterung. Dort fanden nämlich Engelhardt und Parrot auf dem Kasbeck die Höhe derselben 9884 F., also 1500 bis 1800 F. höher, als sie unter gleichen Breiten in den Alpen und Pyrenäen gefunden wird. Dieses ist allerdings viel; allein wenn man fragt, ob die Höhenbestimmungen in den Pyrenäen auch hinlänglich genau sind, insbesondere aber wenn man sie mit der durch v. Welden am Mont Rosa beobachteten Höhe der Schneegrenze von 9500 F. vergleicht, so hört der Unterschied auf sehr beträchtlich zu seyn, und läfst sich aus den Luftströmungen von den ausgedehnten Hochebenen Asiens ohne grofse Schwierigkeit erklären. Weit weniger leicht ist dieses der Fall bei den Abweichungen in den Himlaya-Gebirgen, welche v. Humboldt deswegen zum Gegenstande einer ausführlichen Untersuchung gemacht hat[1]. Das Merkwürdige der Sache findet dieser Gelehrte nicht blofs in der gröfseren Höhe der Schneegrenze überhaupt, sondern hauptsächlich auch darin, *dafs die Nordseite der dortigen Gebirgsmasse ungleich wärmer ist, als die Südseite.* Webb fand zwischen 30° 25′ und 31° 15′ N. B. im Sommer gute Weiden und lebhafte Vegetation auf der Nordseite des Himlaya in 14004 F. und an der Südseite in 11980 F. Höhe. Die letztere weicht wenig von der Regel ab, denn die

1 Ann. Chim. et Ph. XIV. 1 ff.

Schneegrenze ist in America unter 30° N. B. in 11400 F. Höhe, und da beim Tempel Kedarnath der Schnee in 11250 F. sich bis in den Anfang des Juli erhielt[1], so kann man die unterste Schneegrenze auf etwa 11700 F. setzen. Nach HAMILTON's Beobachtungen in Kathmandu in 27° 41′ N. B. ist die mittlere Temperatur in 4536 F. Höhe = 16°,9, die der Quellen = 17°,7, welches gleichfalls vom Gewöhnlichen nicht abweicht. Es gehören nämlich nach v. HUMBOLDT in Gemäſsheit der *bandes isothermes* für 27° 41′ N. B. 23°,3 mittlere Temperatur. Rechnet man nun für die ersten 1000 Meter Erhebung 170 Meter für einen Grad C., so müſste die Temperatur in Kathmandu 23°,3 — 8°,6 = 14°,7 statt 16°,9 seyn, und so glaubt er die 2°,2 Unterschied aus der Wärmestrahlung erklären zu können.

Je näher indeſs v. HUMBOLDT die Temperatur auf jenen hohen Bergen betrachtete, um so auffallender fand er den Unterschied von der gewöhnlichen Regel. WEBB hielt sich vierzehn Tage auf dem Passe des Niti auf, wohin er sich von Kedarnath aus begeben hatte. Die Höhe desselben, barometrisch nach LA PLACE's Formel gemessen, beträgt 15630 F. In dieser ungeheuern Höhe, worin die Erde unter dem Aequator selbst mit ewigem Schnee bedeckt ist, fand er unter 31° N. B. keine Spur desselben, und sogar die 300 F. über den Paſs hervorragenden Spitzen frei davon. An der Nordseite des Passes, 14004 F. hoch, auf den Abhängen von Sutledge, fand er Pappeln und Tamarisken 8 F. hoch, Weideplätze und Kornbau. Zu bewundern ist, wie das Korn dort reift, da nach MOORCRAFT der Sommer erst in der Mitte Juni anfängt und Mitte August's endigt, denn den 28sten Aug. bei — 1°,7 gefror Eis zu 2 Z. dick[2]. Daſs groſse Gebirgsebenen die Temperatur modificiren, ist bekannt, und im Allgemeinen erhöhen sie dieselbe, wie sich dieses in Huancavelica, Micuipampa, Quito, Caxamarca, Sta. Fe de Bogota und Mexico zeigt, wo es viel milder ist, als in glei-

---

1 Diese Bestimmung scheint mir sehr unsicher. Auf dem Brocken dauert der Schnee in Vertiefungen zuweilen das ganze Jahr hindurch, aber dennoch ist die dortige Höhe weit unter der Schneegrenze. Auch nach PARROT's oben No. 5. mitgetheilten Bemerkung ist der Monat Juli noch zu früh, um über die Schneegrenze mit Sicherheit zu bestimmen.

2 Daſs die auſserordentliche Kraft der Sonnenstrahlen auf hohen Bergen dieses schnelle Reifen der Früchte befördere, ist wohl nicht zu bezweifeln. Vergl. unten Theor. Betracht. E. 4. a.

cher Höhe an den Abhängen der Cordilleren. Da aber diese Wirkung in den Anden nicht mehr als 1°,5 bis 2°,3, hier aber sogleich mehr beträgt, so müssen durchaus besondere Ursachen diese ungewöhnliche Erscheinung herbeiführen. Der Unterschied ist nämlich so bedeutend, daſs mindestens gerechnet die Schneegrenze 3300 F. höher liegt, als sie der Regel nach liegen müſste. Im Mittel sollte sie nämlich unter 30° N. B. 11500 F. hoch seyn, statt dessen ist sie aber erst bei 15100 F., und im Sommer fand sich sogar in 15630 F. Höhe kein Schnee, vielmehr gehen Viehweiden und Kornbau bis 14000 F. hinauf, und Gerard fand die höchste Pflanze, eine geruchlose Art Salbei erst in 15952 F. Höhe[1].

Als Ursachen dieser Abweichung von einer sonst so allgemein begründeten Regel nennt v. Humboldt zuerst die durch mehrere Ursachen erzeugte höhere Temperatur der Sommer, indem er annimmt, daſs in jenen Gegenden, wo die *isothermischen* Linien nicht ausgezeichnet hoch hinaufgehen, die *isotherischen* dagegen eine merklich gröſsere Höhe erreichen[2]. Ausgemacht ist nämlich, daſs die Hitze der Sommer, welche vorzüglich das Reifen der Früchte bedingt, den Graden der Breite keineswegs direct proportional ist. Unter andern hat Moscow gleich heiſse Sommer als manche Gegenden am Ufer der Loire, ohngeachtet eines Breitenunterschiedes von 11 Graden, und Ungarn verdankt die Güte seiner Weine hauptsächlich der groſsen Sommerhitze ohngeachtet seiner oft und in der Regel sehr kalten Winter. Allein die Ursachen, welche die Wärme der Sommer bedingen, scheinen mir auf diejenigen Oerter nicht anwendbar zu seyn, welche in so groſsen Höhen über der Meeresfläche liegen, wo doch im Winter eine bedeutende Menge Schnee fällt, und zu ewigen Gletschern verhärtet wird, von denen die zur Erzeugung einer hohen Sommerwärme erforderlichen Sonnenstrahlen zurückgeworfen und dadurch unwirksam werden, deren Nähe dann die Wärme zugleich bedeutend herabdrückt. Die ungeheuren Eislagen auf den höchsten Spitzen der Himlaya-Gebirge sind aber zu bekannt, als daſs sie unberücksichtigt bleiben dürften. Einen zweiten Grund findet v. Humboldt in der Masse und Gruppirung der Berge. Groſse Pla-

1 Brewster's Journ. I. 45.

2 Vergl. *Temperatur*.

teau's sollen nämlich zwar bei Nacht mehr Wärme durch freie Strahlung verlieren, dafür aber bei Tage mehr durch Entbindung erhalten. Inzwischen sollte man glauben, daſs diese beiden entgegengesetzten Wirkungen sich einander ausgleichen müſsten, ja wenn kein bestimmter Grund vorhanden ist, der letzteren ein Uebergewicht beizulegen, so könnte man nicht mit Unrecht hieraus auch das Gegentheil folgern. Drittens sollen auch die Wolkenschichten, welche zwischen der Erde und der Schneegrenze liegen, und durch Verschluckung des Lichtes viele Wärme anziehen, einen Einfluſs haben. v. Humboldt beruft sich hierbei auf d'Aubuisson[1], welcher aber an dieser Stelle einen solchen Satz nicht eigentlich aufstellt, und setzt dann hinzu, daſs eine dicke Wolkenschicht an den Cordilleren in 1000 bis 2000 Metern Höhe eine gröſsere Kälte der höheren Regionen dadurch erzeugt, daſs sie die Wärmestrahlung der Erde aufhält. Soll aber dieses Argument Gültigkeit haben, so muſs zuvörderst erst dargethan werden, daſs gröſsere, ausgedehntere und längere Zeit sich erhaltende Wolkenschichten die unteren Regionen der Cordilleren begrenzen, als das Himlaya-Gebirge. v. Humboldt ist allerdings am ersten im Stande, diese Frage zu beantworten, indeſs finde ich nicht, daſs er in seinen Beschreibungen diesen Gegenstand vorzüglich hervorhebt, vielmehr redet er viel von der Klarheit des dortigen Himmels, und da es unter andern bekanntlich in Lima gar nicht regnet, so ist ein bedeckter Himmel dort nicht vorauszusetzen; die periodischen Regen aber sind in Asien eben so stark als in America, wie namentlich die ungeheuern Gangesschwellen beweisen. Wollte man ferner annehmen, daſs der Wasserdampf der von dem Meere herkommenden Luftschichten an den asiatischen Gebirgen stärker niedergeschlagen würde, als an den americanischen, um hierdurch stärkere Wolken zu erzeugen, so würde dieses eben eine niedrigere Temperatur der asiatischen höheren Luftschichten anzeigen, als der americanischen, alle übrigen Bedingungen gleichgesetzt, wovon aber gerade das Gegentheil statt findet. Man sieht hiernach wohl ein, daſs die erforderlichen Thatsachen fehlen, um dieses Argument genau zu würdigen, daſs es aber aus vielen Gründen nicht hinreicht, das vorliegende Phänomen genügend zu erklären. Ein vierter Grund

1 Traité de Géog. I. 435.

welchen v. Humboldt gleichfalls erwähnt, dafs nämlich horizontale Luftströmungen sowohl Kälte als Wärme herbeiführen, soll wohl nur im Allgemeinen die Unterschiede der Temperaturen an verschiedenen Orten zu erklären dienen. Zur Erklärung der abnormen Erscheinungen am Himlaya-Gebirge führt er aber zwei bestimmte Ursachen an, nämlich erstlich die grofse Hitze Asiens, und zweitens die Wärmestrahlungen einer überaus grofsen Ebene (der Hochebene zwischen dem Himlaya und Altai) woran die Berge gelehnt sind.

Was das erste Argument betrifft, so scheint mir die höhere Temperatur Asiens keineswegs völlig entschieden, wenigstens haben v. Humboldt's isothermische Linien unter 30° N. B. und 80 Grad östlicher Länge von Paris, wohin jene Gegenden fallen, keine bedeutende Convexität, obgleich sie höher heraufgehen, als in America. Gesetzt aber Asien hätte hier und überall eine gröfsere Wärme, so müfsten zuvor die *Ursachen* hiervon beigebracht werden, denn das ist ja eben die zu erklärende Aufgabe. Das zweite Argument ist dagegen allerdings gewichtiger. Man darf es nämlich als ausgemacht ansehen, dafs zwischen den beiden genannten grofsen Gebirgsmassen eine ungeheure Hochebene liegt[1], deren Höhe zwar nicht bestimmt ist, die wir aber nach manchen Wahrscheinlichkeitsgründen für sehr bedeutend halten müssen. Dabei ist aber vorher die Frage zu beantworten, auf welche Weise eine solche erwärmend auf die angrenzenden Berge wirkt. v. Humboldt sagt durch Wärmestrahlung. Bekanntlich versteht man unter der Wärmestrahlung des Erdbodens das Ausströmen der Wärme gegen den heiteren Himmel, und diese soll nicht vorhanden seyn, wenn Wolken denselben bedecken. Hier müfste also eine solche Strahlung gegen einen dunkelen Körper, die hohen Himlaya-Gebirge, statt finden, welches an sich mit jener Bedingung der Heiterkeit des Himmels im Widerspruche steht. Nimmt man hinzu, dafs man wegen der Krümmung der Erde die Himlaya-Gebirge auf jenen Hochebenen gar nicht sieht, so müfste zur Erklärung der genannten Erscheinung eine Wärmestrahlung angenommen werden, deren Richtung anfangs mit der Oberfläche der Erde parallel wäre, und zu deren Annahme kein denkbarer Grund vorhanden ist. Wollen wir uns also nicht durch das beliebte Wort:

Fig. 180.

---

1 S. unten VII. C. 6.

Wärmestrahlung, täuschen lassen, so muſs ein anderer, mit anderweitigen Naturgesetzen harmonirender Grund gesucht werden, und dieser scheint mir darin zu liegen, daſs über der ausgedehnten, noch obendrein wüsten, Hochebene Asiens durch die Einwirkung der Sonne mehr Wärme entbunden wird, welche die Temperatur der darüber ruhenden Luftschicht erhöhet, und dadurch bewirkt, daſs die nördlichen Winde eine wärmere Luft herzuführen, mithin ungleich weniger abkühlen, als sonst der Fall zu seyn pflegt, und dieses ist auch eigentlich dasjenige, was v. Humboldt unter seinem Ausdrucke verstanden wissen will. Dabei ist es indeſs merkwürdig, daſs über jenen Wüsten eine so schneidend kalte Temperatur herrscht, daſs zuweilen während der Nacht die Pferde der Caravanen sterben, und daſs insbesondere im Winter die Kälte ganz unerträglich ist. Obgleich dieses richtig ist, so muſs doch auf der andern Seite zugleich erwogen werden, daſs bei Tage in den Strahlen der Sonne die Hitze erweislich einen sehr hohen Grad erreicht, wodurch warme Luftschichten in die Höhe steigen, und durch Strömungen, deren Richtung hauptsächlich von Norden nach Süden geht, den Himlaya-Gebirgen zuflieſsen, weswegen gerade die Nordseite die höchste Temperatur hat[1].

Hierdurch wird anscheinend die Beobachtung genügend erklärt, bei genauerer Prüfung zeigt sich aber, daſs bei weitem nicht alle Schwierigkeiten beseitigt sind. Um nur einige derselben namhaft zu machen, möge Folgendes dienen. Es läſst sich zuerst fragen, warum nicht über minder hohen Ebenen gleichfalls eine gröſsere Menge Wärme entbunden wird, und die von da aufsteigenden warmen Luftschichten nicht eine gleiche Wirkung hervorbringen. Die Ebenen des östlichen Theils von Südamerica, die Gegenden um den Orinoco und Amazonenfluſs sind gleichfalls von ungeheurer Ausdehnung und der brennenden Sonnenhitze ausgesetzt, warum bringen die von ihnen aufsteigenden warmen Luftschichten, welche ohnehin durch die re-

---

1 Es erklärt sich aus aërostatischen Gesetzen und aus der schlechten Wärmeleitung der Luft sehr leicht, daſs bei nächtlicher Erkaltung des Bodens nur die zunächst damit in Berührung stehenden Luftschichten gleichfalls abgekühlt werden, ohne daſs die höheren erwärmten herabsinken. Die Richtung der Luftströmungen kommt dabei gleichfalls in Betrachtung. Ueber die Ursachen des Erkaltens bei Nacht s. *Temperatur*.

gelmäfsige östliche Luftströmung fortgeführt werden könnten, auf die nächsten Hochgebirge nicht eine gleiche Wirkung hervor? Noch mehr aber: Spanien ist nur durch einen schmalen Meeresstrich von den ungeheuern africanischen Sandebenen getrennt, warum liegt auf dessen Hochgebirgen die Schneegrenze nicht ungewöhnlich hoch? ja was noch auffallender erscheinen mufs, warum liegt sie niedriger, als im Kaukasus. Doch nicht blofs der Zweifler, sondern jeder eifrige Forscher mufs noch auf eine Menge Dunkelheiten ganz anderer Art stofsen, welche sämmtlich dazu auffordern, dieses schwierige Problem der Physik der Erde einer genauen Erörterung zu würdigen, und seine Erklärung auf wohlbegründete Theorie und Erfahrung zu bauen.

c. Kälte der Polargegenden.

Die ausnehmend hohe Kälte der Polargegenden ist oben nachgewiesen, und da aus den nachfolgenden theoretischen Betrachtungen hervorgehen wird, dafs die Wärme der Erde überhaupt eine Folge ihrer ursprünglichen Wärme und des Einflusses der Sonnenstrahlen ist, so fragt sich allerdings, wie jene hohe Kälte hiermit in Einklang zu bringen sey. War die Erde ursprünglich heifs, so mufste ihre Temperatur unter den Polen derjenigen unter dem Aequator gleich seyn, und man mufs daher annehmen, dafs die dort vorhandene Wärme entweder durch noch unbekannte Ursachen gebunden wurde, oder sich in den Raum zerstreuete, oder endlich nach den tropischen Gegenden hingezogen wurde. Da diese Untersuchung übrigens geradezu in das Gebiet der Hypothesen führt, und obendrein von der noch nicht fest begründeten Voraussetzung einer ursprünglich hohen Temperatur der Erde ausgeht, so kann sie hier nicht füglich weiter verfolgt werden.

Leichter scheint es auf den ersten Blick, das Fortdauern der einmal vorhandenen grofsen Kälte der Polargegenden zu erklären, wenn man annimmt, dafs die Wärme der Erdoberfläche und der sie unmittelbar berührenden Luftschicht eine Folge der auffallenden Sonnenstrahlen sey, deren Wirkung man dem Quadrate des Cosinus der Breite proportional setzt. Einige haben zwar die Wärme, welche in sehr hohen Breiten durch den Einflufs der Sonnenstrahlen insbesondere bei der langen Dauer der Tage erzeugt wird, sehr hoch angeschlagen, und sich dabei auf einige unzweideutige Erfahrungen berufen; insofern

aber die geringere Intensität der durch dieses Mittel erregten Wärme im Allgemeinen nicht füglich bezweifelt werden kann, es sich daher zunächst nur um die Stärke der Wärmeentbindung durch die Sonnenstrahlen handelt, in Beziehung hierauf aber Theorie und Erfahrung im Artikel *Wärme* vollständiger entwikkelt werden muſs, so ist am besten, hierauf zu verweisen. So viel wird indeſs auch ohne dieses leicht klar, daſs der lange Winter und der damit gänzlich fehlende Einfluſs der Sonnenstrahlen die Bildung einer bedeutenden Menge von Eis bewirken muſs, dessen Menge, je gröſser sie wird, nicht bloſs den nachherigen Einfluſs der Sonnenstrahlen aus bekannten Gründen zu schwächen, sondern auch mannigfache Bedingungen herbeizuführen vermag, durch welche der daselbst herrschende Grad der Kälte allmälig sehr gesteigert werden konnte, bis der gegenwärtige bleibende Zustand herbeigeführt war.

E. Theoretische Betrachtungen.

Diejenigen Fragen, welche der Theorie der Erdtemperatur zu beantworten vorliegen, sind erstlich: woher hat die Erde ihre Wärme ursprünglich erhalten, und zweitens welche Ursachen bedingten früher und bedingen noch jetzt ihren thermometrischen Zustand. Obgleich diese Aufgabe im höchsten Grade interessant ist, und ihre Untersuchung in einer physikalischen Abhandlung über die Erde durchaus nicht fehlen darf, so ist es doch unmöglich, sie hier im ganzen Umfange zu behandeln. Hierzu fehlen nämlich theils eine Menge Thatsachen, welche erst unter dem Artikel *Temperatur* ausführlich mitgetheilt werden können, theils verschiedene theoretische Bestimmungen aus der Wärmelehre. Diesemnach können hier nur einige allgemeine Sätze beigebracht werden.

1. Die Frage, woher die Erde ursprünglich ihre Wärme erhalten habe, liegt ganz im Dunkeln, und dieses muſs um so mehr der Fall seyn, als[1] wir die Temperatur des Erdkernes nicht mit Gewiſsheit kennen. Insofern es aber wahrscheinlich ist, daſs im Innern der Erde Glühhitze herrscht, hat Fourier's Hypothese am meisten für sich, wenn er annimmt, daſs die Erdmasse ursprünglich im Zustande dieser Glühhitze in den tief

---

1 Vergl. oben A.

kalten Weltraum geschleudert wurde, und hier allmälig bis zu ihrer jetzigen Temperatur erkaltete. Woher dieselbe aber gekommen sey, und aus welcher Quelle sie diese ihre eigenthümliche Wärme genommen habe, kann aus sicheren Thatsachen nicht beantwortet werden, und bloſse Hypothesen hierüber gehören nicht hierher. Das Einzige, was als analoge Erscheinung angeführt werden kann, ist dieses, daſs die noch jetzt muthmaſslich aus dem Weltraume auf der Erde anlangenden meteorischen Massen im Zustande der stärksten Glühhitze und der Schmelzung durch Feuer, wenn nicht gar einer Art von Dampfform, in der Atmosphäre der Erde anlangen. Will man also mit einigen Physikern annehmen, daſs die ganze Erde aus einer Menge solcher Massen zusammengesetzt sey[1], so wären mindestens diese beiden Phänomene mit einander in Harmonie. Ob endlich der Raum, worin sich die Erde befindet, ein absolut kalter sey, oder wie Fourier annimmt, eine gewisse Wärme besitze, bleibt vorläufig hypothetisch.

2. Es folgt aus den oben mitgetheilten Thatsachen, daſs die Temperatur der äuſseren Erdrinde in etwa 50 bis 60 T. unter der Oberfläche eine constante Gröſse ist, die sich in meſsbaren Zeiträumen nicht ändert. Durch diese hindurch nimmt die Erde weder Wärme von Auſsen an, noch dringt solche von Innen heraus, nämlich in der Art, daſs die Wärme der Erde im Ganzen dadurch eine Veränderung erlitte. In den nächsten Schichten über dieser Grenze hören die jährlichen Veränderungen der Temperatur gleichfalls auf, es herrscht daselbst eine gewisse mittlere, durch Jahrhunderte und Jahrtausende allmälig bestimmte, welche der jetzigen mittleren der Oberfläche nahe gleich ist. Wir können beide hier unberücksichtigt lassen, da die Ursachen sich von selbst ergeben, wodurch diese Schichten allmälig zu diesem Temperaturzustande gelangten.

3. Sonach kommt also zunächst nur die Temperatur der Erdoberfläche und der Atmosphäre in Betrachtung, mit beiläufiger Berücksichtigung der täglichen und jährlichen Veränderungen derselben. Man ist von jeher darüber einig gewesen, diese vom Einflusse der Sonnenstrahlen abzuleiten, und setzte die Gröſse ihrer Wirkung der Menge der auffallenden Strahlen und der Richtung derselben proportional, mit Rücksicht auf die ver-

---

1 S. *Geologie.*

schiedenen, die individuellen Ortstemperaturen bedingenden Ursachen. Ohne hier zu untersuchen, auf welche Weise die Sonnenstrahlen Wärme zu erzeugen vermögen[1], entscheiden die Beobachtungen ganz bestimmt für die Richtigkeit dieser Voraussetzung. Keiner hat indeſs in den neuesten Zeiten diesen Gegenstand ausführlicher und gründlicher behandelt, als Fourier. Nach diesem[2] giebt es drei Ursachen der äuſseren Erdtemperatur, erstlich die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen, zweitens die im Weltraume noch vorhandene Wärme und drittens der Rest der ursprünglichen Erdwärme. Untersucht man diese einzeln, so läſst sich im Wesentlichen Folgendes darüber sagen.

a. Rücksichtlich der Wärmeerregung durch die Sonne nimmt man seit den gehaltreichen Untersuchungen, welche Wells über die Erscheinungen des Thauens angestellt hat[3], fast ganz allgemein an, daſs die Sonnenstrahlen bei Tage von der Erdoberfläche absorbirt und in Wärme umgewandelt werden, letztere aber, deren Menge hiernach stets zunehmen müſste, sich bei Nacht durch Strahlung gegen den heiteren Himmel wieder verliere[4]. Gegen diese Hypothese habe ich schon früher[5] aus verschiedenen Gründen einige Zweifel erhoben, welche ich am geeigneten Orte mittheilen werde. Hier möge nur die einzige Bedenklichkeit erwähnt werden, daſs dieselbe gänzlich unstatthaft ist, sobald man die Newton'sche Vorstellung vom Lichte verläſst, und zur Undulationstheorie übergeht, welches Argument gegenwärtig um so gewichtiger ist, je zahlreicher die Menge der Anhänger wird, welche die letztere in den neuesten Zeiten erhalten hat.

---

1 Vergl. *Wärme; Erregung derselben durch die Sonnenstrahlen.*

2 Théorie analytique de la Chaleur. Par. 1822. 4. Discours prélim. Ann. Ch. et Ph. XXVII. 136.

3 Vergl. *Thau.*

4 Da der Gegenstand hier nicht in seinem ganzen Umfange zur Untersuchung kommen kann, so beziehe ich mich nur auf Fourier Théorie de la Chal. p. IV. wo es heiſst ... et pénétrant dans la masse du globe, ils en élèveraient de plus en plus la température moyenne, si cette chaleur ajoutée n'était pas exactement compensée par celle, qui s'échappe en rayons de tous les points de la superficie, et se répand dans les cieux.

5 Im Prorectorats-Programme: Sacra natalitia die XXII. Nov. celeb. renunt. G. W. Muncke. Heidelb. 1819. 4.

Abgesehen von dieser Aetiologie der Erscheinung ist die Sache an sich wohl unbezweifelt richtig, nämlich dafs die Erwärmung der Erdoberfläche im Allgemeinen nebst dem Wechsel der täglichen und jährlichen Temperaturen an den verschiedenen Orten aus der Wirkung der Sonnenstrahlen füglich erklärt werden kann[1]. Fourier setzt dann noch hinzu, dafs der Einflufs derselben mit der Tiefe der Erdkruste mehr und mehr abnimmt, und bei etwa 30 Metern völlig verschwindet. Die verschiedenen Einflüsse in Verbindung mit der genannten Hauptursache der Wärmeerzeugung gleichen sich indefs aus, um die mittlere Temperatur der Oerter zu erzeugen. Ferner ist die Tiefe, bis zu welcher die durch äufsere Ursachen bedingten Veränderungen der Temperatur dringen, den Quadratwurzeln der Zeit proportional, welche bei geringerer Tiefe erfordert wird, sie wahrnehmbar zu machen, weswegen die Tiefe, bis zu welcher die täglichen Veränderungen bemerkt werden, 19 mal geringer ist, als welche den jährlichen zugehört[2]. Man darf annehmen, dafs ein Achttheil des Jahres, nachdem die Oberfläche der Erde ihre mittlere Temperatur erreicht hat, die Erdrinde wärmer wird, dieses sechs Monate fortdauert, und hierauf Abnahme erfolgt. Fourier will ferner aus Versuchen mit Eisen gefunden haben, dafs, wenn die Erdrinde metallisch wäre, die durch die Veränderung der Jahrszeiten erzeugte Wärme in Paris hinreichen würde, um bei der Basis von einem Quadratmeter einen Eiscylinder von dieser Grundfläche und 3,1 Meter Höhe zu schmelzen. Die mehr nach unten erregte Wärme der Erdrinde selbst würde aber ein weit geringeres Resultat geben, indem die Wärmeerzeugung nach seinen Untersuchungen der Quadratwurzel aus dem Producte der Wärmecapacität in das Volumen und das Durchleitungsvermögen proportional ist.

b. Fourier nimmt eine Wärme des Raumes an, worin sich die Erde bewegt. Sie soll derjenigen gleichen, welche ein Thermometer zeigen würde, wenn die Sonne und alle Planeten weg-

1 D'Aubuisson Traité de Géogn. I. 424.

2 Es kommt hierbei sicher auf die Beschaffenheit des Bodens an. Nach meinen oben erwähnten Versuchen mit Thermometern, welche in schwere, unten thonige, Gartenerde eingesenkt sind, reichen die täglichen Veränderungen nicht bis auf 3 Par. Fufs, und so lassen sich für die jährlichen höchstens 50 bis 60 F. oder etwa 20 Meter rechnen.

genommen würden. Diese Wärmequelle scheint ihm nothwendig, weil sonst, wenn die Erde sich in einem absolut kalten Raume befände, die Kälte an den Polen ungeheuer, und die Zunahme derselben vom Aequator an viel stärker seyn würde, auch die Nacht eine völlige Erstarrung herbeiführen müfste, wenn alle Wärme von den Sonnenstrahlen herrührte. Diese Temperatur des Raumes soll seinen Berechnungen nach derjenigen gleichen, welche an den Polen herrscht, und aus den Strahlungen aller Himmelskörper und der im Raume vorhandenen Materie entstehen, deswegen auch nicht überall gleich seyn, wohl aber in unserm Planetenraume, und diesemnach an den Polen aller Planeten dieselbe.

Die grofse Autorität, welche Fourier durch seine Arbeiten über die Wärmelehre gerade in diesem Zweige der Physik erlangt hat, erfordert die Mittheilung seiner Ansichten. Läfst man sich indefs durch jenes, anderweitig wohlbegründete, Ansehen nicht blenden, so ergiebt sich bald, dafs der ganze dargelegte Satz mit anerkannten Wahrheiten im Widerspruche steht. Hierhin rechne ich weniger die durch Gay-Lussac[1] aus seinen bekannten Versuchen abstrahirte Folgerung, wonach im Torricelli'schen Vacuo gar keine Wärme vorhanden seyn soll, um so viel weniger also in der weit vollkommenern und von aller wägbaren Materie ungleich weiter getrennten Leere des planetarischen Raumes existiren könnte, als vielmehr die Gründe, worauf der Beweis einer solchen Wärme des Raumes gegründet wird. Wenn man nämlich berücksichtigt, dafs die Zeiträume, während welcher die Sonnenstrahlen auf die Pole fallen, der Summe der Tageslängen unter dem Aequator gleich ist, dafs unzählige Luftströmungen die Atmosphäre stets durch einander mischen, und nach Fourier selbst die erhitzten Luftschichten unter dem Aequator stets aufsteigen, um oberhalb nach den Polen hin wieder abzufliefsen, dafs endlich auch die Meeresströmungen eine Menge von dem unter dem Aequator erwärmten Wasser den Polen zuführen müssen, so scheint nach allen diesen Gründen vielmehr die hohe Kälte der Pole einer genügenden Erklärung zu bedürfen. Dafs aber die Temperatur an den Polen einem Wechsel des Sommers und Winters unterliege, mithin keine constante Gröfse sey, aufserdem aber von der auf

1 Ann. Ch. et Ph. XIII. 304.

den höchsten Bergspitzen herrschenden schwerlich bedeutend sich unterscheide, und somit die an der äuſsersten Grenze der Atmosphäre herrschende (wahrscheinlich absolute) Kälte keineswegs erreiche, wird nicht leicht jemand bezweifeln. Prüft man aber vollends das zweite Argument, nämlich daſs die Nacht eine völlige Erstarrung herbeiführen müſste, wenn die Sonnenstrahlen alleinige Ursache der Wärme wären, so muſs es in der That auffallen, wie Fourier dieses aufstellen konnte, welcher mit so ausgezeichneter Gewandtheit im analytischen Calcüle die Gesetze der Erkaltungszeiten erhitzter Körper in der Luft und im leeren Raume bestimmt hat. Aus der angegebenen Behauptung würde aber folgen, daſs eine glühend gemachte erdene Kugel, in ein völlig verfinstertes Zimmer gebracht, plötzlich auf die Temperatur der Umgebung herabsinken müſste, was doch eben so sehr den gemeinsten Erfahrungen, als den tiefgelehrten theoretischen Betrachtungen Fourier's widerstreitet.

Zu diesen unwiderleglichen Argumenten lassen sich noch Kleinigkeiten hinzufügen, welche indeſs insgesammt gegen die aufgestellte Behauptung entscheiden. Gliche nämlich die Temperatur des Raumes derjenigen, welche an den Polen der Erde statt findet, so ist hierdurch nicht bestimmt, ob der mittleren oder der tiefsten derselben. Das erstere ist fast undenkbar, und würde kein Aufsteigen der Lufttheilchen von der durch dauernden Einfluſs der Sonnenstrahlen mindestens etwas erwärmten Oberfläche an den Polen gestatten, überhaupt aber, eben wie das zweite, keine Abnahme der Temperatur bei gröſserer Erhebung über die Erdoberfläche daselbst zulassen. Daſs ferner die Temperatur aller Planeten an den Polen gleich seyn soll, ist mindestens eine sehr gewagte Hypothese, welche mit den groſsen Massen Polareises, die man auf dem Mars beobachtet und regelmäſsig verschwinden gesehen haben will, desgleichen mit der Lage der Axe des Jupiters gegen die Sonnenbahn, kurz mit der wahrscheinlichen physischen Beschaffenheit der Planeten keineswegs übereinstimmt. Die Strahlungen der Planeten in den Himmelsraum endlich, und vollends einer noch ganz unerwiesenen Materie im planetarischen Raume, sind mindestens im höchsten Grade problematisch.

c. Die dritte Ursache der Erdtemperatur findet Fourier in dem noch vorhandenen Ueberreste der ursprünglichen Erdwärme oder überhaupt in ihrer fortdauernden eigenthümlichen Wärme.

Dieses kann auf zweierlei Weise verstanden werden. Zuerst läſst sich annehmen, daſs die ursprünglich glühende Erdmasse auf ihrer Oberfläche bis zu ihrer gegenwärtigen mittleren Temperatur erkaltet sey, und in dem hiernach allmälig erhaltenen Zustande unverändert bleibe, indem durch die Sonne stets neue Wärme herbeigeführt wird, durch Strahlung eine proportionale Menge verloren geht, so daſs selbst in langen Perioden keine Veränderung wahrnehmbar wird. So ist ohne Zweifel die Ansicht Fourier's, welche er mit andern Physikern theilt, und auf diese führen auch die gesammten hierher gehörigen Phänomene, welcher Vorstellung von der individuellen Wirkungsart der Sonnenstrahlen man auch huldigen mag. Einen hauptsächlichen Beweis hierfür liefert namentlich die seit langen Perioden gleich gebliebene mittlere Temperatur der Erdoberfläche [1]. Man könnte indeſs zweitens annehmen, daſs von der groſsen Hitze des Erdkernes fortwährend ein Theil auf die Oberfläche dränge, und die Temperatur derselben in einem anscheinend gleichbleibenden mittleren Zustande erhielte. Die hiernach auf die Erdoberfläche dringende Wärme müſste sich dann entweder daselbst anhäufen, oder gleichfalls in den Himmelsraum zerstreuen. Hiergegen läſst sich kein Argument aus der Unveränderlichkeit der mittleren Erdtemperatur hernehmen, weil es gerade in dem Satze selbst liegen würde, daſs der gröſsere, durch Strahlung erzeugte, Wärmeverlust durch diesen Zufluſs von Innen einen Ersatz erhielte. Man kann ferner aus dem Resultate der Berechnungen La Place's, daſs die mittlere Wärme der Erde seit Hipparch's Zeiten wegen der unveränderten Länge der Tage weder abgenommen noch zugenommen habe, einen Gegenbeweis hiergegen ableiten, weil der wirkliche Wärmeverlust so langsam und in meſsbaren Zeiträumen so unbedeutend anzunehmen wäre, daſs historisch bekannte Zeitintervalle noch keine Messung zulassen könnten. Fourier scheint übrigens, indem er mit Büffon ein allmäliges Erkalten des Erdballes anzunehmen geneigt ist, dieser letzteren Ansicht gleichfalls zu huldigen. Inzwischen gehört dieses auf allen Fall in das Gebiet des Hypothetischen, und hängt mit den Vorstellungen zusammen, welche man sich von dem eigentlichen Wesen der Erdtempe-

---

1 Gay-Lüssac in Ann. Ch. Ph. XXVII. 407 ff. Vergl. *Temperatur.*

ratur macht. Der Erfahrung nach dringt indeſs keine Wärme aus dem Inneren des Erdballes auf die Oberfläche desselben, weil die in einer stabilen Temperatur befindliche Kruste sie nicht durchläſst. Hiervon könnten bloſs einige vulcanische Erscheinungen eine Ausnahme machen, und stimmt diese Ansicht im Allgemeinen weit besser mit La Place's Behauptung überein, als jene unbegründete Hypothese einer unmerklichen Erkaltung.

4. Bei weitem die schwierigste Untersuchung von allen, und nur deswegen vielleicht als minder schwierig betrachtet, weil die Thatsache selbst so allgemein bekannt ist, betrifft die Ursachen, weswegen die Temperatur mit den Höhen so schnell abnimmt. Die Ursachen, welche überhaupt Wärme in höheren Regionen der Luft erzeugen, sind bekannt, und namentlich durch v. Humboldt[1] angegeben. Sie sind 1. die allerdings statt findende, wenn gleich geringe, Absorption der Lichtstrahlen, 2. aufsteigende warme Luftschichten, welche durch starke Erhitzung über der Erdoberfläche specifisch leichter, und dadurch zum Aufsteigen geeignet werden, 3. Wärmeleitung, wenn diese anders nach Rumford's Versuchen statt finden kann, und 4. die Strahlung oder die Erhebung der strahlenden Wärme. Hieraus läſst sich allerdings das Vorhandenseyn der Wärme in den höheren Luftregionen, minder leicht aber ihre geringere Intensität erklären, und die so schnelle Abnahme derselben bleibt doch allezeit räthselhaft. Man leitet nämlich die niedere Temperatur in gröſseren Höhen aus zwei Ursachen ab. Zuerst ist die Luft in den oberen Regionen dünner und durchsichtiger, die Sonnenstrahlen erregen in ihr daher nicht so viele Wärme, als in der unteren, insbesondere aber entgeht ihr diejenige Wärme, welche auf der Erdoberfläche durch das Sonnenlicht erzeugt, und den berührenden Luftschichten durch Strahlung mitgetheilt wird. Diese Ursache ist so auſserordentlich wirksam, daſs d'Aubuisson[2] versichert, Wolken beobachtet zu haben, in welchen die auffallenden Sonnenstrahlen eine groſse und durch Strahlung nach Auſsen wahrnehmbare Menge Wärme entwikkelten. Eine zweite Ursache der mit den Erhebungen über die Oberfläche der Erde zunehmenden Kälte liegt darin, daſs die

---

1 Abhandl. der Berlin. Akad. d. Wiss. auf das J. 1807. Im Auszuge bei G. XXIV. 1 ff.

2 Traité de Géognos. I. 435.

erwärmten, und dadurch specifisch leichter werdenden Lufttheilchen empor steigen, dabei aber zugleich durch ihre Expansion so viele Wärme binden, als bei ihrer Verdichtung frei wird[1]. Dieser letztere Grund in seinem ganzen Umfange genommen besagt Folgendes. Bei dem unaufhörlichen Auf- und Nieder-Steigen der Luftmassen findet gleichmäſsig Verdünnung und Verdichtung derselben statt. Indem aber durch erstere Wärme gebunden, durch letztere aber entbunden wird, so werden die aufsteigenden Lufttheilchen durch Expansion so viel kälter, die herabsinkenden durch Compression so viel wärmer, um die Differenz der Temperatur in gröſseren und geringeren Erhebungen über die Meeresfläche stets gleichbleibend zu erhalten. Eine nähere Prüfung dieses theoretischen Satzes wird ergeben, in wie weit derselbe mit der Erfahrung übereinstimmt.

Man kann nicht in Abrede stellen, daſs diese beiden zusammenwirkenden Ursachen das vorliegende Phänomen eben so vollständig als deutlich zu erklären scheinen. Indeſs will ich beide einer genauen Prüfung unterwerfen, und dann angeben, zu welchem Resultate diese führt, wobei ich mich in Voraus auf diejenigen Untersuchungen beziehe, welche in der Folge unter den Artikeln *Klima*, *Temperatur* und *Wärme* angestellt werden sollen.

a. Wenn die Erfahrung uns berechtigt, die Wärme der Erdoberfläche von der Einwirkung der Sonnenstrahlen abzuleiten, und wir die Ergebnisse der Versuche berücksichtigen, wodurch man den auſserordentlichen Einfluſs der Dunkelheit und Dichtigkeit der durch die Sonnenstrahlen getroffenen Körper auf die in ihnen erzeugte Wärme aufgefunden hat, so darf man keinen Augenblick anstehen, die Wärmeproduction durch dieses Mittel in der höchst durchsichtigen Atmosphäre der höheren Gegenden für verschwindend klein zu halten, oder auch mit D'AUBUISSON = 0 zu setzen, wenigstens wenn von ausgezeichnet hohen Bergspitzen die Rede ist. Die groſse Kälte in den oberen Luftschichten scheint somit aus der Abwesenheit eines wärmegebenden Mittels leicht erklärlich. Bezieht sich indeſs die Untersuchung auf die Kälte der Berge, so stellt sich die Sache

---

1 Unter vielen Autoritäten erwähne ich nur D'AUBUISSON a. a. O. FOURIER Traité anal. de la Chaleur. p. VI. LA PLACE Méc. Cél. V. 87 ff.

ganz anders dar. Auf den Bergen nämlich ist die Luft aufserordentlich durchsichtig, die Sonnenstrahlen kommen also ungeschwächt auf dem Boden an, und erzeugen eine weit gröfsere Wärme, als in niedrigern Gegenden. Zum Beweise mögen aufser den vielen Angaben der auf hohen Bergen empfundenen, gleichsam stechenden, Hitze der Sonnenstrahlen nur die Versuche dienen, welche SABINE auf Jamaica anstellte[1]. Ein geschwärztes Thermometer stieg durch den Einflufs der Sonnenstrahlen im Spiegel des Meeres im Mittel 36°,5 F. über die Wärme der umgebenden Luft, in einer Höhe von 4080 engl. F. aber 59°, so dafs also die absolute Differenz 22°,5 F. = 12°,5 C. betrug. Der Unterschied der Temperaturen beider Stationen war 13° F. Werden diese abgerechnet, so beträgt dennoch die relative Differenz der Wärmeerzeugung in jener Höhe über die untere noch 9° F. oder 5° C., wenn man auf den Bergen das Resultat eines einzigen Tages, an der unteren Station aber das Maximum aus 6 Tagen nimmt. Hiergegen mufs man rechnen, dafs das obere Thermometer bei Nacht mehr Wärme verlor, als das untere, wie SABINE meint, durch Strahlung. Das obere, dem freien Himmel ausgesetzte Thermometer mit einer geschwärzten Kugel fiel nämlich in einer Nacht um 18° F. mehr, als ein im Schatten befindliches und gegen Strahlung gesichertes, zwei solche verglichene Thermometer an der unteren Station differirten aber nur um 9° F. im Mittel aus 7 Nachtbeobachtungen. (Das Maximum der Differenz betrug 11°,5 F.) Nehmen wir auf dieses letztere keine Rücksicht, so verlor das obere 9° F. = 5° C. Wärme mehr als das unterere bei Nacht, und gewann 22°,5 F. = 12°,5 C. mehr bei Tage, ja sogar mit Rücksicht auf die oben einmal vorhandene gröfsere Kälte war die Wärmeproduction oben mindestens eben so grofs und eigentlich noch überwiegend gröfser als die Wärmeverminderung in Vergleichung mit beiden Resultaten an der unteren Station. Hieraus geht aber evident das Resultat hervor, dafs es auf hohen Bergen *wärmer* seyn müfste, als in der Tiefe. Man könnte hiergegen anführen, dafs die höheren Gegenden stets in Berührung mit der kalten Luft sind, wodurch ihnen Wärme entzogen wird; allein der Verfolg der Untersuchungen wird ergeben, dafs die Spiten der Berge

1 An Account of Experiments to determine the figure of the Earth. Lond. 1825. 4. p. 507.

vielmehr kälter sind, als die Luft in gleichen Höhen. Ohne daher dieses, auf einen Widerspruch zwischen bekannten Thatsachen führende Problem hier weiter zu erörtern, gehe ich zum zweiten Argumente über.

b. Am wichtigsten ist also der zweite Grund der mit den Höhen abnehmenden Wärme, welcher aus der Erkaltung der Luft durch Expansion und aus ihrer Erwärmung durch Compression hergenommen wird. Hierbei mufs zuvörderst vorausgesetzt werden, was noch nicht völlig durch die Erfahrung erwiesen, aber mindestens im höchsten Grade wahrscheinlich und vor der Hand nicht zu bezweifeln ist, dafs durch Expansion der Luft eine ganz gleiche Wärmemenge gebunden, als durch ihre Compression frei wird. Soll ferner bei den verschiedenen, häufig aufwärts und niederwärts gehenden Luftbewegungen das bestehende Gleichgewicht der Temperaturen in ungleichen Höhen bleibend erhalten werden, so mufs die Wärmebindung und Entbindung durch Verdichtung und Verdünnung der Luft den ungleichen Temperaturen verschiedener Höhen und der daselbst beobachteten Temperaturen correspondiren. Es fragt sich also, was aus Theorie und Erfahrung rücksichtlich dieser Aufgabe folgt. Der Gegenstand ist wegen seiner hohen Wichtigkeit oft untersucht, und ich will daher das Wesentlichste darüber mittheilen, indem ich bei den neuesten Versuchen hauptsächlich eine Dichtigkeitsvermehrung bis zum Doppelten berücksichtige, weil hiervon eine unmittelbare Anwendung auf die durch Gay-Lüssac bei seinem aërostatischen Auffluge erhaltenen Resultate gemacht werden kann.

1. Die Untersuchung fällt im Allgemeinen mit einer andern, oben (D. a. 6) schon in nächster Beziehung auf die Erfahrung angeregten, zusammen, nämlich ob für gleiche Höhenunterschiede die Temperaturen in einer arithmetischen oder geometrischen Progression abnehmen, und diese Frage kann hier zugleich mehr im Allgemeinen mit erörtert werden. Schon L. Euler[1] folgerte in seiner Abhandlung über die Strahlenbrechung, dafs die letztere als Regel anzunehmen sey. Bezeichnen t und t′ die Temperaturen und h die Höhe der zwischen beiden liegenden Luftschicht, so ist

1 Mém. de Berlin. 1754. p. 140.

$$h = f\frac{t - t'}{1 + t},$$

wonach also die Höhe dem Unterschiede der Temperaturen directe, und der unteren Temperatur umgekehrt proportional ist. Diese Formel Euler's bezieht sich auf das Luftthermometer. Oltmanns [1] hat sie indeſs auf das Quecksilberthermometer unter der Voraussetzung reducirt, daſs die Luft zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers sich um 0,375 ihres Volumens ausdehnt, und findet dann aus v. Humboldt's Beobachtungen folgende Werthe für den Coefficienten 1 : f, deren Uebereinstimmung zeigt, daſs für die gemessenen Höhen diese Formel allerdings mit der Erfahrung übereinstimmt.

Beobachtungsort	1 : f
Pic von Teneriffa	— 0,000036563
Nevado de Toluca	— 0,000039633
Silla de Caraccas	— 0,000035506
Pichincha —	— 0,000036579
Fuerte de la Cuchilla	— 0,000038344
Chimboraço —	— 0,000035447

Diese Beobachtungen liegen indeſs sämmtlich zwischen den Wendekreisen, und es ist oben nachgewiesen, daſs aus ihnen kein allgemeines Gesetz der Wärmeabnahme in wachsenden Höhen entlehnt werden kann. Inzwischen ist Euler's Formel auf ein im Allgemeinen richtiges und mit der Erfahrung übereinstimmendes Princip gegründet.

Lambert [2] nimmt in Gemäſsheit seiner Untersuchungen über die Verbreitung der Wärmetheilchen an, daſs für gleiche Höhenunterschiede abnehmende Temperaturdifferenzen statt finden, mithin daſs die ersteren in einer zunehmenden Progression wachsen, wenn die letzteren in einer arithmetischen Reihe abnehmen. Aus seiner Formel berechnet er, daſs folgende Temperaturen und Höhen einander zugehören.

1 G. XXXI. 387.
2 Mém. de Berlin. 1772. Pyrometrie. p. 232.

Höhen in Tois.	Temp.	Differ. für 420 t.	Höhen in Tois.	Temp.	Differ. für 420 t.
000	1,0000	0,0382	2520	0,8410	0,0138
420	0,9618	0,0320	3360	0,8134	0,0109
840	0,9298	0,0273	4200	0,7915	0,0052
1260	0,9025	0,0233	6300	0,7555	0,0041
1680	0,8792	0,0201	8400	0,7351	0,0032
2100	0,8591	0,0181	10500	0,7219	

La Grange[1] meint, daſs die Hypothese einer mit den Höhen gleichmäſsig abnehmenden Temperatur der Natur der Sache am angemessensten sey, Oriani[2] nimmt statt dessen eine harmonische Reihe an, welche zwischen einer arithmetischen und einer geometrischen in der Mitte liegt, und eben so urtheilt v. Lindenau[3]. Indem er aber für barometrische Höhenmessungen die mittlere Temperatur beider Stationen durch die Formel

$$\vartheta = \frac{1}{2}(t + t') - 0{,}000004\,(t - t')$$

ausdrückt, so ergiebt sich, daſs hiernach die Wärmeabnahme von einer arithmetischen Reihe nicht merklich abweicht. Für mäſsige, oder vielmehr durch Menschen erreichbare Höhen theilt auch La Place in so fern diese Ansicht, als er in seiner Formel für barometrisches Höhenmessen die mittlere Temperatur der zwischenliegenden Luftschichten dem arithmetischen Mittel aus beiden gemessenen Temperaturen gleich setzt.

2. Zur Würdigung sowohl dieser älteren und neueren, als auch insbesondere der neuesten Bestimmungen über diesen Gegenstand ist indeſs vor allen Dingen nothwendig, die Vermehrung und Verminderung der Wärme zu kennen, welche durch Expansion und Compression der Luft hervorgebracht wird, weil Luftmassen stets aufsteigen und herabsinken, und hierdurch nothwendig das Gleichgewicht der Temperatur gestört werden müſste, wenn namentlich die aufsteigenden Lufttheile nicht durch die gröſsere Ausdehnung in höheren Regionen diejenige Wärme wieder verlören, welche ihnen bei der Berührung der

1 Mém. de Berlin. 1772. p. 206.

2 Dieser Gelehrte gründete seine Untersuchungen hauptsächlich auf die horizontale Strahlenbrechung. S. Ephem. astron. anni 1788 cet. p. 218. Vergl. La Place in Méc. Cél. IV. 262. v. Zach in Mon. Cor. XXI. 101.

3 Bernhard de Lindenau Tables barometriques cet. Leipz. 1809. 8.

Erdoberfläche mitgetheilt ist. Versuche hierüber sind viele angestellt, jedoch stimmen die erhaltenen Resultate keineswegs vollkommen, einige überall kaum mit einander überein, weil namentlich die Absorption der Wärme durch die Wände der Gefäfse und sonstige Bedingungen einen ausnehmend grofsen Einflufs ausüben. Vollständig können die verschiedenen Versuche hier zwar nicht geprüft werden[1], wohl aber ist es nothwendig, von den gefundenen Gröfsen hier Gebrauch zu machen. Einige Versuche, welche mit der Bestimmung der in den Wasserdämpfen durch Expansion latent werdenden Wärme zusammenhängen, sind oben[2] schon angegeben, und können daher hier nur kurz erwähnt werden. Nach Robison werden durch eine Verdünnung der Luft auf die Hälfte ihrer Dichtigkeit 3°,024 R. = 3°,8 C. Wärme gebunden, nach Southern 11°,85 R. = 14°,81 C. Gay-Lüssac[3] verband zwei Ballons mit einander, exantlirte den einen, liefs dann in diesen die Luft aus dem andern strömen, und beobachtete die hierdurch in beiden erzeugte Veränderung der Temperatur. Hiernach erhielt er durch eine Vermehrung der Dichtigkeit auf das Doppelte nur eine Vermehrung der Temperatur um 5° C. an einem empfindlichen Luftthermometer. J. Dalton[4] suchte gleichfalls durch Verdichtung und Verdünnung der Luft in Ballons vermittelst der Luftpumpe die Menge der hierdurch frei und latent werdenden Wärme zu finden, und nimmt als genäherte Gröfse aus seinen Versuchen an, dafs eine Compression bis auf das Doppelte der Dichtigkeit 50° F. = 28° C. oder 22° R. Wärme erzeugt.

Ungleich gröfsere Resultate sind durch andere Versuche erhalten, welche im Ganzen mehr Vertrauen verdienen, ohne dafs es deswegen erlaubt ist, jene ganz in Schatten zu stellen. De la Rive und Marcet[5] fanden nämlich bei der Anwendung sehr vollkommener Apparate und äufserst genauer Beobachtung ein bei den gewählten Methoden täuschendes Hindernifs. Die von Aufsen in den Ballon dringende Luft machte die Luft anfangs sinken, weil sie in dem leereren Raume expandirt wurde,

---

1 Vergl. *Wärme; Erzeugung derselben.*

2 S. Art. *Dampf.* Th. II. S. 303.

3 Mém. d'Arcueil. I. 180 daraus bei G. XXX. 258.

4 G. XIV. 101.

5 Bibl. univ. XXII. 275. Ann. Ch. et Ph. XXIII. 209.

der anfängliche Wärmeverlust betrug nach dem Thermometer 2°,4 und die nachher erfolgende Temperaturerhöhung 7 bis 9 Grade, so daſs nur eine absolute Wärmevermehrung von etwa 6° C. am Thermometer wahrnehmbar wurde. Genau genommen muſste aber von der durch Verdichtung der Luft erzeugten Wärme ein aliquoter Theil zur Erwärmung des Thermometers abgegeben werden, wozu eine gewisse Zeit erforderlich war, und wenn man diese Betrachtungen weiter verfolgt, so ergiebt sich leicht, daſs die eigentliche Wärmebindung durch Expansion selbst in demjenigen Ballon, aus welchem nach Gay-Lussac die Luft ausströmte, entweder gar nicht oder nicht mit völliger Genauigkeit gemessen werden konnte[1].

Unter die sinnreichsten und bisher mit Recht sehr geachteten Versuche gehören daher die durch Clement und Desormes[2] angestellten. Sie lieſsen Luft in einen Ballon strömen, worin die Elasticität der eingeschlossenen Luft 752,69 Millim. zeigte, während die der äuſseren 766,5 Millim. betrug. Die Differenz der Dichtigkeiten war also = 13,71 Millim. und die Verdichtung $\frac{13,71}{766,5} = \frac{1}{55,5}$, wodurch 1°,3212 Wärme ausgeschieden wurde. Hiernach giebt also ohne Weiteres eine Zusammendrückung der Luft von 0,017886 ihres Volumens 1°,3212 C. Wärme, mithin erfordert 1° C. eine Verdichtung von 0,013538 und 1° R. von 0,016922 unter den Bedingungen des angegebenen Versuches. Poisson, welcher diese Versuche einer genauen Berechnung unterworfen hat[3], findet, daſs eine Verdichtung der Luft um 0,01355 einer Temperaturerhöhung von 1°,3212 zugehört, welches für 1° C. 0,01025 und für 1° R. 0,01282 geben würde, wenn man die Verdichtungen den erzeugten Temperaturen direct proportional setzt. Diese Bestimmung, welche auf den ersten Blick eine sehr groſse Wärmeausscheidung als Folge der Compression der Luft darthut, findet Poisson indeſs zur Erklärung der Geschwindigkeit des Schalles in der atmosphärischen Luft noch nicht zureichend, sondern es soll die angegebene Verdichtung einer Temperatur von 1°,513 zugehören, wonach darauf 1° C. 0,008956 und auf 1° R.

---

1 Vergl. *Wärme; Erzeugung durch Compression.*

2 Journ. de Ph. LXXXIX. 331.

3 Journ. de l'École polyt. Cah. XIV. Ann. Ch. et Ph. XXII. 5.

0,01119 Verdichtung kommen würde. Aehnliche Angaben, welche aber fast alle mit der Fortpflanzung des Schalles in Verbindung stehen, und auf den genannten Versuchen beruhen, finden sich mehrere. Unter andern äufsert GAY - LÜSSAC[1] beiläufig, dafs eine fünffache Verdichtung der Luft 250° C. erzeugen würde, wonach auf 1° C. 0,02 und auf 1° R. 0,025 kommen würde. BIOT[2] bezieht sich auf POISSON's angegebene Abhandlung, und nimmt hypothetisch an, dafs zur Erklärung der Geschwindigkeit des Schalles für 1° C. eine Verdichtung von $\frac{1}{116}$tel = 0,008620 und für 1° R. von 0,0108 anzunehmen sey. Es mögen indefs diese Angaben hier nur zur Vergleichung dienen, und ich werde sie daher bei der nachfolgenden Anwendung nicht weiter berücksichtigen.

Nach DE LA PLACE[3] haben GAY - LÜSSAC und WELTER eine sehr grofse Reihe ähnlicher Versuche zur Begründung seiner Theorie über die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft angestellt, indem sie die Luft comprimirten, anstatt sie wie CLEMENT und DESORMES zu verdünnen. Statt der durch letztere nach POISSON's Berechnung erhaltenen Gröfse = 0,01355 erhielten jene 0,0137244, wonach dann für 1° C. 0,010388 und für 1° R. 0,012985 kommen würde. Auch die Versuche, welche DE LA ROCHE und BERARD über die specifische Wärme der Gasarten angestellt haben, benutzt LA PLACE, um jene Bestimmung daraus zu erhalten, und findet diese = 0,013748, wonach für 1° C. 0,010405 und für 1° R. 0,013007 gehört.

Auf eine von den angegebenen Methoden verschiedene Weise hat J. J. PRECHTL[4] das Gesetz der Wärmeentbindung durch Compression der Luft in nächster Beziehung auf die Wärmeabnahme in der Atmosphäre untersucht. Das sinnreich ausgedachte, und vielleicht zweckmäfsigste Verfahren bestand im Allgemeinen darin, eine eingeschlossene und durch Wärme auf einen höheren Grad der Spannung gebrachte Quantität Luft mit der äufseren plötzlich ins Gleichgewicht der Elasticität zu setzen,

---

1 Ann. Ch. et Ph. IX. 305.

2 Traité II. 21.

3 Méc. cél. V. 125.

4 Jahrb. des polyt. Inst. III. 1. G. LXXVI. 249. Eine nähere Beschreibung der Versuche s. Art. *Wärme*.

die sogleich erfolgende und die nach längerer Zeit eintretende Ausdehnung zu messen, und aus dem Unterschiede beider die gleich anfangs durch die Expansion verlorene Wärme zu bestimmen. Als mittleren Werth erhielt er nach der oben gewählten Bezeichnung 0,01720 für 1° C. und 0,0215 für 1° R.

Da sich der Natur der Sache nach nicht erwarten läfst, dafs so complicirte Versuche völlig übereinstimmende Resultate geben sollten, und die gewählten Methoden der Untersuchung keiner der gefundenen Gröfsen ein entschiedenes Uebergewicht über die anderen geben, so wird es vor der Hand am besten seyn, aus allen das arithmetische Mittel zu suchen. Heifst also die für 1° R. ausgeschiedener Wärme gefundene Gröfse der Compression x; die für 1° C. gefundene y, so haben wir folgende Werthe aus den verschiedenen Versuchen.

Nach Clement und Desormes ist	$x = 0{,}01282$;	$y = 0{,}01025$
— Gay-Lüssac und Welter	$x = 0{,}012985$;	$y = 0{,}010388$
— La Roche und Berard	$x = 0{,}013007$;	$y = 0{,}010405$
— Prechtl	$x = 0{,}021500$;	$y = 0{,}017200$
Mittel	$= x = 0{,}015078$;	$y = 0{,}012061$

Das Mittel aus den französischen sehr nahe übereinstimmenden Bestimmungen giebt $x = 0{,}012937$ und $y = 0{,}010348$. Ist der Werth für x und für y einmal gegeben, und darf man voraussetzen, dafs die Vermehrung und Verminderung der Wärme der Compression und Expansion der Luft direct proportional sey, so läfst sich durch $\frac{n}{x}$ oder $\frac{n}{y}$ die durch eine n fache Verdünnung oder Verdichtung der Luft latent oder frei gewordene Wärme in Graden der achtzig - oder hundert - theiligen Scale finden. Wegen einer Vergleichung mit den durch Gay-Lüssac bei seinem aërostatischen Auffluge erhaltenen Resultaten sey $n = 2$; so giebt das allgemeine Mittel für eine Verdoppelung der Dichtigkeit 132°,64 R. = 165°,82 C., das Mittel aus den drei französischen Versuchen aber 154°,6 R. = 193°,27 C.

3. J. Leslie[1] sucht gleichfalls aus den ihm bekannten Versuchen über die durch Verdünnung der Luft absorbirte Wärme das Gesetz aufzufinden, wonach die Temperatur der

---

1 Ann. of Phil. XIV. 26.

Atmosphäre mit zunehmender Höhe abnimmt. Hiernach ist für Grade der Fahrenheit'schen Scale, wenn d die Dichtigkeit der höheren Luftschichten, die der unteren als Einheit angenommen, bezeichnet, und $x = 1 - d$ gesetzt wird, die Verminderung der Temperatur $= 45° x \left(\frac{2 - x}{1 - x}\right)$, wonach die Wärme für 200 F. Höhe um 1° F. abnimmt. Wird hiernach die Temperaturverminderung berechnet, welche einer Abnahme der Dichtigkeit der Luft bis auf die Hälfte zugehört, so ist $d = 0{,}5$, also $x = 0{,}5$ und die Abnahme der Wärme $= 67°{,}5$ F. oder $= 37°{,}5$ C.

4. Ehe ich diese Untersuchungen weiter fortsetze, wird es nöthig seyn, die von Gay-Lüssac bei seinem oft erwähnten aërostatischen Auffluge erhaltenen Gröfsen bestimmter anzugeben, weil diese nicht blofs an sich grofses Zutrauen verdienen, sondern auch zwischen den vielen andern gefundenen Werthen ohngefähr in der Mitte liegen. Gay-Lüssac[1] beobachtete nämlich an der Erdoberfläche 30°,8 C. und in gröfster Höhe —9°,5, mithin betrug die Temperaturdifferenz beider Stationen 40°,3 C. Die Barometerstände zeigten eine Dichtigkeit der Luft unten = 1, oben = 0,432, und wenn die letztere Gröfse wegen des Unterschiedes der Temperatur corrigirt wird = 0,5; mithin gehört einer Verdünnung der Luft bis auf die Hälfte ihrer Dichtigkeit eine Temperaturverminderung von 40°,3 C. zu, wenn man annehmen will, dafs die von unten aufsteigenden, und umgekehrt die von oben herabsinkenden Lufttheilchen durch Expansion und Compression die Temperatur der Luftschichten annehmen, in welche sie gelangen, wodurch dann das Gleichgewicht in der Temperatur bleibend erhalten werden würde.

5. Prechtl[2] giebt an, es lasse sich aus der gegebenen Verdünnung der Luft und dem bekannten Werthe von x die Verschluckung der Wärme leicht finden, und da die Dichtigkeit der Luft dem Barometerstande direct proportional sey, so gebe für die Barometerstände h und h' und die Temperaturen t und t' die Formel

$$\frac{h - h'}{h} = x(t - t') \text{ oder } t' = t - \frac{h - h'}{h x}$$

1 S. Th. I. S. 241.
2 G. LXVII. 252.

die zusammengehörigen Höhen und Temperaturen. Daſs man in diese Formel ohne Weiteres y statt x setzen könne, wenn die Temperaturen in Centesimalgraden gemessen werden sollen, versteht sich von selbst. Nach den vorstehenden Angaben dürfen wir in dem vorliegenden Falle statt die Dichtigkeiten aus den Barometerhöhen zu berechnen, nur $\frac{0,5}{x} = t - t'$ setzen, oder nach Graden der hunderttheil. Scale y statt x setzen, um die oben angegebenen Werthe mit dem durch Gay-Lüssac gefundenen Unterschiede der Temperaturen $= 40^{\circ},3$ C. zu vergleichen. Die nachstehende Uebersicht enthält diese Gröſsen, und in der letzten Columne die Differenz.

Nach Clement und Desormes	48,7	Diff.	+ 8,4
— Gay-Lüssac und Welter	48,1	—	+ 7,8
— La Roche und Berard	48,0	—	+ 7,7
— Prechtl	29,1	—	—11,2
— Leslie	38,0	—	— 2,3
Mittel aus den oberen vier Bestimmungen	41,4	—	+ 1,1

Diese Zusammenstellung ergiebt, daſs die Differenzen mit Ausnahme der Bestimmung durch Leslie und des arithmetischen Mittels aus den vier übrigen Werthen zu groſs sind, als daſs sie nicht Fehler in der einen oder anderen Beobachtung oder in den theoretischen Voraussetzungen andeuten sollten. Es darf dabei nicht unbemerkt bleiben, daſs nach den französischen Bestimmungen die Kälte in höheren Regionen gröſser seyn müſste, nach Prechtl und Leslie aber geringer, als sie durch Versuche gefunden ist. Prechtl berechnet die Dichtigkeit der Luftschichten in den verschiedenen Höhen bloſs nach den Barometerständen, ohne darauf Rücksicht zu nehmen, daſs die höheren durch geringere Temperatur dichter waren, als unmittelbar aus ihren Elasticitäten folgt. Weil indeſs seine Zusammenstellung der gefundenen Werthe zugleich einige interessante Einflüsse anderweitiger Bedingungen beurkundet, welche weiterhin noch näher betrachtet werden müssen, so nehme ich keinen Anstand die von ihm gefundenen Werthe hier mitzutheilen.

Barometerstand in Centim.	Höhen über Paris	Beobach. Temp. nach R.	Berech. Temp. nach R.	Diff.
76,52	0	22,25	—	—
53,81	1555,6	10,00	8,41	+ 1,59
51,43	1750,6	8,75	6,89	+ 1,86
49,68	1893,9	6,75	5,89	+ 0,86
49,05	1958,2	8,30	5,50	+ 3,00
45,28	2314,8	7,00	3,21	+ 3,79
44,04	2428,8	6,50	2,45	+ 4,05
43,53	2467,2	5,75	2,24	+ 3,01
42,49	2566,3	4,75	1,68	+ 2,57
41,41	2634,6	0,75	0,85	— 0,10
41,14	2702,7	3,50	0,68	+ 2,82
39,85	2831,7	2,00	— 0,11	+ 2,11
39,18	2889,4	0,00	— 0,51	+ 0,51
39,01	2911,6	0,50	— 1,07	+ 1,57
37,17	3099,3	— 2,50	— 1,74	— 0,76
36,96	3133,4	— 1,25	— 1,87	+ 0,62
36,70	3151,9	— 2,75	— 2,64	— 0,11
33,39	3532,0	— 5,5	— 4,04	— 1,46
32,88	3579,9	— 7,5	— 4,35	— 3,15

6. Bei den bisher benutzten Formeln wird auf die anfängliche Temperatur der comprimirten Luft keine Rücksicht genommen, sondern vorausgesetzt, dafs die ausgeschiedene Wärme der wachsenden Dichtigkeit jederzeit proportional sey. Poisson aber hat bei seiner gehaltvollen Bearbeitung dieses Gegenstandes gezeigt, dafs die Menge der ausgeschiedenen Wärme in einem gewissen Verhältnisse zu ihrer anfänglichen Temperatur steht. Die Formel, welche dieser grofse Geometer zur Berechnung der durch Compression frei werdenden Wärme mittheilt, von welcher schon im Artikel *Dampf*[1] Gebrauch gemacht ist, deren vollständige Entwickelung aber hier gleichfalls nicht mitgetheilt werden kann, gründet sich auf die Wärme des Raumes, und die Ausdehnung der Gasarten durch Wärme, wenn man ihr Volumen bei 0° C. = 1 setzt. Indem nämlich die letztere Gröfse 0,375 des anfänglichen Volumens beträgt, so nennt La Place[2] $\frac{100^\circ}{0,375} = 266,67$ die Wärme des Raumes. Bezeich-

1 Th. II. S. 302. Vergl. G. LXXVI. 269.

2 Méc. Cél. V. p. 92.

nen dann t und t' die anfängliche und die durch Compression erzeugte Wärme, ϱ und ϱ' die anfänglichen und die nachherigen Dichtigkeiten, k endlich den Coefficienten der Ausdehnung, so giebt der analytische Ausdruck

$$t' = (266°,67 + t)\left(\frac{\varrho'}{\varrho}\right)^{k-1} - 266°,67$$

das Verhältniſs zwischen den Temperaturen und Dichtigkeiten. Wird diese Formel unmittelbar auf die durch Gay-Lüssac erhaltenen Resultate angewandt, so ist $\varrho' = 2\varrho$, und $t = -9°,5$, wonach aus $t' - t = 79°,16 + 0,2968\,t$ wenn man für t den Werth $-9,5$ setzt, $t' = 66°,84$ gefunden wird. Sänken also die Luftschichten aus der durch Gay-Lüssac erreichten Höhe bis zur Oberfläche der Erde herab, und würden bis auf das Doppelte ihrer Dichtigkeit hierdurch comprimirt, so würde hierdurch ihre Temperatur bis 66°,84 C. vermehrt werden. Nach Gay-Lüssac aber betrug die untere Temperatur nicht mehr als 30°,8, welches also einen Unterschied von 36° C. giebt. Ohne diese bedeutende Differenz hier weiter zu untersuchen, gehe ich zu noch einer Bestimmung über.

7. Auch Ivory hat in einigen Abhandlungen das Problem der Wärmeabnahme in gröſseren Höhen untersucht, wobei er in der Art der Darstellung der Methode Poisson's in dessen Abhandlung[1] über die Gesetze der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft und der dabei statt findenden Ausscheidung der Wärme folgt. Zuerst hat Ivory in einer früheren Abhandlung[2] aus den Gesetzen der astronomischen Strahlenbrechung gezeigt, daſs die Dichtigkeit, die Temperatur und den Druck der Atmosphäre an der Oberfläche der Erde $= 1$ gesetzt, für eine Abnahme der Dichtigkeit $= (1-\omega)$ der Druck derselben $= (1-\omega)^{\frac{5}{4}}$

1 Journ. de l'École Polytechnique. Cah. 14.

2 Phil. Trans. 1823. Besonders abgedruckt ist die Abhandlung unter dem Titel: Ivory on the astronomical refraction. Lond. 1823. 4. Aehnliche gelehrte Untersuchungen über die Ursache der mit der Höhe abnehmenden Wärme sind enthalten in Plana Recherches analytiques sur la densité des couches de l'Atmosphère et la théorie des Refraction astronomiques. Turin 1823. 4. aus Mem. della R. Accad. di Torino. Diese Untersuchungen reihen sich an die oben erwähnten von L. Euler, Oriani, La Place u. a., können aber hier nicht weiter berücksichtigt werden.

wird, wonach die Function der Temperatur also $(1-\omega)^{\frac{1}{4}}$ beträgt. Diesemnach folgert Ivory ferner[1], dafs mit Beibehaltung der angegebenen Bezeichnung der Elasticität, des Druckes und der Dichtigkeit der Luft über der Erdoberfläche durch 1, in irgend einer gegebeneu Höhe

$$\text{die Elasticität} = p = \left(\frac{1+\alpha\tau-\alpha\iota}{1+\alpha\tau}\right)^3\left(\frac{1+\alpha\tau-\alpha\iota+\alpha\vartheta}{1+\alpha\tau}\right)$$

$$\text{die Dichtigkeit} = \varrho = (1-\omega) = \left(\frac{1+\alpha\tau-\alpha\iota}{1+\alpha\tau}\right) \quad \text{(I.}$$

sey, wenn τ die Temperatur an der Erde, ι die Zahl der Thermometergrade, um welche die Temperatur vermindert wird, wenn die Luft von der Dichtigkeit $=1$ zu $(1-\omega)$ übergeht, und ϑ die durch alle anderweitigen Ursachen hervorgebrachten Veränderungen der Temperatur bezeichnet, wodurch die Luft in der gegebenen Höhe afficirt werden kann. Geht man hiervon aus, so folgt nach Ivory ferner[2], dafs wenn h und D den Barometerstand und die zugehörige Dichtigkeit der Luft in der Höhe x, dagegen h' und D' diese nämlichen Gröfsen an der Oberfläche der Erde bezeichnen

$$h = \int -D\,dx$$

sey. Ist dann l die Länge einer Luftsäule von gleicher Dichtigkeit $=D'$ und dem Drucke einer Quecksilbersäule $=h'$ gleich, so ist $h = l\,D'$ und

$$\frac{h}{h'} = \int -\frac{D}{D'} \times \frac{dx}{l}.$$

Hierin ist l eine veränderliche, von der Temperatur an der Erdoberfläche abhängige Gröfse. Nimmt man hierbei den Nullpunct der Centesimalscale als Normalgröfse an, so wird für die Temperatur τ die Höhe $l' = l\,(1+\alpha\tau)$ woraus

$$\frac{h}{h'} = \int -\frac{D}{D'} \times \frac{dx}{l\,(1+\alpha\tau)}$$

wird. Setzt man aber $s = \frac{x}{l\,(1+\alpha\tau)}$, so wird

$$p = \int -\varrho\,ds = \int -(1+\omega)\,ds \quad \text{(II.}$$

und die beiden Gleichungen I. und II. bezeichnen die physischen Verhältnisse zwischen der Elasticität, Dichtigkeit, Tem-

1 Phil. Mag. LXVI. 3.

2 Ebend. p. 87.

peratur und Höhe einer Luftmasse in einer gewissen Höhe in ihrem Gleichgewichte. Alle diese Stücke hängen ab von den beiden veränderlichen Gröſsen ι und ϑ, und wenn $t = \iota - \vartheta$ gesetzt wird, von den veränderlichen Gröſsen ι und t.

Ivory bezieht sich auf Dalton's Gesetz, wonach die Lufttheilchen durch das Aufsteigen ausgedehnt werden, und somit eine ihrer Ausdehnung proportionale Wärmeverminderung erleiden. Die Vergleichung des Barometer- und Thermometerstandes in verschiedenen Höhen müſste daher ein Mittel abgeben, das Gesetz der Verminderung des Druckes und der Abnahme der Wärme aus der Erfahrung zu finden. Er schlägt ferner vor, hierbei die durch Ramond aus 38 Beobachtungen gefundene mittlere Gröſse, wonach 164,7 Meter 1° C. Wärmeabnahme geben, und das Gesetz, daſs die Verminderungen der Wärme der Höhen direct proportional sind, zum Grunde zu legen. Ivory setzt dann aber der Vergleichung wegen in seiner Formel $\vartheta = 0$; $\iota = t$; $\varrho = 0{,}5$; $\tau = 31°$; und findet hiernach

$$\iota = \frac{1 + \alpha\tau}{\alpha}\left(1 - \varrho^{\frac{1}{3}}\right)$$

also die Temperaturverminderung $\iota = 61°$, folglich nahe 21° gröſser, als Gay-Lussac's Beobachtung gegeben hat. Den auf diese Weise erhaltenen Werth vergleicht er mit demjenigen, welchen Poisson's Formel für die Berechnung der Geschwindigkeit des Schalles[1] geben soll, wenn man die Menge der ausgeschiedenen oder gebundenen Wärme den Verdichtungen und Verdünnungen der Luft direct proportional setzt, also $= A \times \omega$. Hierin soll dann der beständige Coefficient $A = 116°$ und $\omega = 0{,}5$ seyn, wonach eine Temperaturverminderung von 58° C. herauskommt[2]. Ivory sucht dann weiter darzuthun, auf wel-

---

1 S. Journ. de l'Éc. Polyt. Cah. 14.

2 Hierbei liegt wohl ohne Zweifel ein Versehen Ivory's zum Grunde. Poisson nimmt nämlich a. a. O. allerdings an, daſs eine Verdichtung von $\frac{1}{116}$ eine Temperaturerhöhung von 1° C. giebt, worin ihm auch Biot (nach oben No. 2.) folgt. Allein hiernach muſs eine Verdichtung von $\frac{116}{116} = 1$ nothwendig 116° C. geben, wenn man anders die unzulässige Bedingung zugesteht, daſs die ausgeschiedene Wärme allgemein der Zusammendrückung direct proportional sey. Ivory sieht nun diese Zahl als eine beständige an, und bringt her-

che Weise ein Gleichgewicht in der Atmosphäre und ein Zustand der Ruhe ihrer Theilchen entstehen und bestehen kann, wenn dieselben entweder aufsteigen oder herabsinken, wobei sie im ersteren Falle durch Wärmebindung kälter, im letzteren durch Entbindung wärmer werden müssen, ohne daſs jedoch diese Demonstration in Gemäſsheit des durch seine Formel erhaltenen Werthes zu einer genügenden Erklärung dieses schwierigen Problemes hinreicht. Indeſs glaubte ich dieselbe vollständiger mittheilen zu müssen, da sie sich unmittelbar auf den fraglichen Gegenstand bezieht.

c. Die Uebersicht der bisher mitgetheilten Untersuchungen welche sich auf die Versuche und Berechnungen der geübtesten Experimentatoren und gewandtesten Geometer gründen, führt leider zu der Ueberzeugung, daſs die Verschiedenheit der Temperatur in ungleichen Höhen auch aus dem zweiten Grunde, nämlich der durch Expansion der Luft gebundenen Wärme nicht genügend erklärt werden kann. Wenn aber aus dem ersteren Argumente[1], nämlich der geringeren Wärmeerzeugung durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen folgt, daſs die Temperatur

aus, daſs für eine Verdünnung bis 0,5 eine Verminderung der Wärme $=116\times0,5=58^\circ$ erhalten werde. Allein wenn man Luft von irgend einer Dichtigkeit $=1$ comprimirt, bis sie $=2$ wird, wie bei Gay-Lüssac's Versuche der Fall war, wenn man von oben an nach unten rechnet, weswegen auch in Poisson's Formel oben $\varrho'=2\varrho$ gesetzt ist, so ist ihre Dichtigkeit dann doppelt, die Vermehrung derselben aber $1=\frac{116}{116}$, und hiernach müssen nothwendig 116° C. Wärme ausgeschieden werden. Auf gleiche Weise scheint mir ein Miſsgriff von Clement und Desormes begangen zu seyn, indem sie im Journ. de Ph. LXXXIX. 334. die Wärme des Raumes $=116^\circ$ setzen, weil $\frac{116}{116}=1$ die Dichtigkeit der Luft $=1$ gebe. Allein von der absoluten Leere bis zur Dichtigkeit $=1$ giebt es eine unendliche Menge der Dichtigkeiten, weil $\frac{1}{0}=\infty$ ist. Wird aber angenommen, daſs sich die Bestimmung auf die Dichtigkeit und Temperatur der von ihnen zum Versuche benutzten Luft beziehe, dann ist von dieser allerdings $\frac{116}{116}=1$. Hieraus ergiebt sich aber, daſs man bei diesen Bestimmungen allezeit von einer gewissen bestimmten Dichtigkeit und Temperatur der Luft ausgehen müsse, wie nicht allezeit geschehen ist, und hieraus erklären sich zum Theil die abweichenden Resultate.

1 S. oben a.

auf den Spitzen der Berge höher seyn müſste, als die Erfahrung sie giebt, so folgt dagegen aus dem zweiten, auf die durch Expansion erzeugte Kälte gebaueten, daſs es in der Höhe ungleich kälter seyn müsste, als die Beobachtung angiebt. Auf den ersten Blick könnte man zu dem Schlusse veranlaſst werden, daſs diese beiden entgegengesetzten Bedingungen einander ausgleichen, allein bei der verhältniſsmäſsig geringen Anzahl der Bergspitzen und Plateaus auf der Erdoberfläche zeigt sich diese Hypothese als unzulässig, und es müſste sonach die Kälte in der Höhe weit gröſser seyn, als die Beobachtungen sie geben. Vergleichen wir aber beide Ursachen mit einander und mit der Erfahrung, so wird die Sache nur noch verwickelter. Hiernach sollte nämlich die Temperatur der Bergspitzen höher seyn, als die durch Expansion bedingte der gleich hohen Luftschichten, allein der allgemeinen Erfahrung nach bilden sich Nebel und Wolken leicht und viel an den Spitzen hoher Berge, und letztere sind überhaupt leicht feucht, weil sich an ihnen die Dämpfe niederschlagen, woraus eine niedrigere Temperatur derselben hervorgeht. Prechtl[1] meint zwar, diese gröſsere Kälte der Bergspitzen rühre von der gemeinschaftlichen Wirkung der Sonne und der stets wechselnden trockenen und dünneren Luftschichten her, wodurch die Verdunstungskälte vermehrt würde, allein die Sonnenstrahlen bringen nach den oben angegebenen Versuchen gerade die entgegengesetzte Wirkung hervor, und wenn sich an den Spitzen der Berge die Wasserdämpfe der Luft verdichten, so müſste auch hierdurch ihre Wärme vermehrt werden; warum aber die Wasserpartikeln auf ihnen mehr als in der Luft verdunsten sollten, und zwar so, daſs eben dadurch wieder eine Kälte erzeugt würde, welche die bedeutenden Niederschläge bedingte, darüber ist gar kein genügender Grund angegeben.

Aus allen angegebenen Berechnungen, (mit Ausnahme der auf Prechtl's und Leslie's Formel gegründeten, welche letztere hier unbeachtet bleiben kann) folgt ferner, daſs die aufsteigende Luft durch ihre Expansion einen höheren Grad der Erkältung annehmen muſs, als der Region zugehört, in welcher sie anlangt. Diese Folgerung an sich könnte man immerhin bestehen lassen und annehmen, daſs durch das stete Aufsteigen

1 G. LXXVI. 264.

solcher Lufttheilchen eine verhältnifsmäfsig wärmere, auf der Erde zunächst ruhende und bis zu einer unbestimmten Höhe reichende Atmosphäre gebildet würde, und daraus könnte es sogar erklärlich werden, dafs die aufsteigenden Wasserdämpfe in höheren Regionen zu Wolken niedergeschlagen werden. Es ergeben sich aber sehr bald die auffallendsten Widersprüche, selbst bei der Voraussetzung einer solchen wärmeren, die Erde zunächst an der Oberfläche umgebenden Atmosphäre, sobald man die Erscheinung umkehrt, und die Luft aus höheren Regionen herabsinken läfst. Bei der Luftfahrt von Gay-Lüssac waren alle Bedingungen günstig, um eine solche Atmosphäre recht hoch hinaufzurücken, weswegen auch hiernach 173 Met. auf 1° C. kommen, statt dafs d'Aubuisson für ähnliche Breiten im Mittel aus vielen Versuchen nur 147 Met. für eine gleiche Temperaturdifferenz erhielt [1]. Nach seiner Erfahrung betrug der Unterschied der Temperatur der ganzen Station 40°,3 C., nach den Berechnungen der Compression vermittelst der Formeln der französischen Gelehrten und Ivory's mufste er aber 7° bis 36° mehr betragen. Wären diese richtig, so würde hieraus folgen, dafs die aus höheren Regionen herabsinkenden Luftschichten in den unteren eine aufserordentliche Wärme erzeugen müfsten oder vielmehr es könnten gar keine herabsinken, weil sie in gröfserer Tiefe sogleich durch die entbundene Wärme heifser, somit specifisch leichter werden, und wieder ins Gleichgewicht kommen würden. Mit diesem letzteren Argumente könnten jene Gelehrten allerdings die Resultate ihrer Versuche vertheidigen, stände nur nicht die Erfahrung entgegen. Wenn ich nämlich von dem noch etwas dunkelen Phänomene der Hagelbildung abstrahire, wobei aus höheren Regionen herabkommende, und die Strömungen der Luft nach sich ziehende Körper eine aufserordentliche Kälte verbreiten, die sich meistens lange Zeit erhält, so ist es ein allbekanntes Phänomen, dafs die von hohen Bergen herabsinkenden Winde empfindlich kalt sind, anstatt dafs sie nach jenen Berechnungen auffallend heifs seyn müfsten. Auch v. Humboldt [2] bemerkt ausdrücklich, dafs bei den Cordilleren wie in Abyssinien Winde entstehen, indem die kalte Luft von den hohen, beeiseten Bergen herabstürzt und die

---

1 S. oben D. a und b.

2 Reis. d. Ueb. IV. 153.

warme zurückdrängt. Endlich müſsten die Orkan-artigen Stürme, welche durch herabstürzende Schneelavinen erzeugt werden, und wobei die obere Luft offenbar den fallenden Schneemassen nachfolgt, folglich in groſser Schnelligkeit aus sehr bedeutenden Höhen in tiefere Gegenden versetzt wird, nicht bloſs eine laue, sondern eine dem Gefühle nach ganz eigentlich heiſse Luftströmung bilden, welche indeſs nirgend beobachtet ist[1]. Im Gegentheile der genannten Erscheinungen müſsten die aus den Ebenen auf die Berge durch Winde hinaufgetriebenen Luftschichten oben eine empfindliche Kälte zeigen, welches indeſs gleichfalls der Erfahrung widerstreitet, indem solche, auch die unteren Luftschichten bewegende und auf hohe Berge führende, Stürme vielmehr lau sind. Der Erfahrung gemäſs müssen wir also annehmen, daſs der Unterschied der Temperaturen ungleicher Höhen gröſser ist als er seyn würde, wenn er der Wirkung der Expansion oder Compression der Luft proportional wäre.

Sollen hiermit die oben mitgetheilten Bestimmungen in Einklang gebracht werden, so ist dieses schon von selbst der Fall bei der durch Prechtl gegebenen, weniger dagegen bei denen von Clement und Desormes, Gay-Lussac und Welter, La Roche und Berard. Die Ursache hiervon mag in dem Umstande liegen, daſs die von Prechtl zu seinen Versuchen angewandte Luft wahrscheinlich bis 0° R. erkaltet wurde, und so muſste die durch Expansion gebundene Wärmemenge geringer gefunden werden als von den französischen Physikern, weil nach Poisson's Untersuchung die Temperatur der Luft allerdings die durch Compression ausgeschiedene Wärme bedingt[2]. Die gröſste Differenz giebt indeſs Poisson's Formel, und von dieser sollte man wegen der hohen Autorität dieses Geometers billig die genaueste Uebereinstimmung erwarten. Letztere läſst sich nur dann erhalten, wenn man annimmt, daſs Poisson allerdings die Menge der durch Compression ausge-

1 Vergl. G. LXIV. 214.

2 Die Versuche der französischen Physiker sind meistens in der Absicht angestellt, um aus der Menge der ausgeschiedenen Wärme die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles zu erklären. Da Letzteres um so leichter ist, je gröſser die durch Compression erzeugte Wärmemenge gefunden wird, so wäre es wohl möglich, daſs aus diesem Bestreben die gefundenen Bestimmungen etwas vergröſsert wären.

schiedenen Wärme richtig zu finden lehre, dabei aber zu berücksichtigen sey, dafs man zugleich die relative Wärme derjenigen Luft, welche die frei gemachte Wärme wieder aufnimmt, in Betrachtung ziehen müsse. Nach DE LA ROCHE und BERARD[1] ist aber die relative, oder auf das Volumen sich beziehende Wärme der Luft unter einem Drucke von 1,0058 Met. Quecksilberhöhe = 1,2396 wenn sie unter einem Drucke von 0,7405 M. = 1 ist. Setzt man die relativen Wärmen den Dichtigkeiten proportional, so würde die der Luft von doppelter Dichtigkeit $= 1,2396 \times \frac{2}{1,3538} = 1,8252$ betragen; nach CLEMENT und DESORMES aber ist die relative Wärme der halb so dünnen Luft = 0,693, die der einfach dichten = 1 gesetzt. Diesem gemäfs würden also die durch POISSON's Formel erhaltenen 66°,84 nach jener ersten Bestimmung $\frac{66,84}{1,825} = 36°,6$ nach der letzteren aber $66,84 \times 0,693 = 46°,32$ geben, welches den Beobachtungen allerdings näher kommt, sie aber noch nicht völlig erreicht[2].

e. Als endliche Resultate scheinen mir folgende aus allen diesen Betrachtungen zur Erklärung der vorliegenden höchst verwickelten Erscheinungen hervorzugehen.

1. Die Wärme der Erde im Ganzen, mit Einschlufs ihrer Atmosphäre, ist als eine ihr eigenthümliche anzusehen, welche ihr wahrscheinlich aus einer früheren Epoche ihrer ursprünglichen Bildung geblieben ist, und deren erste Ursache hier nicht weiter zur Untersuchung kommen kann. Sie hat sich durch verschiedene theils bekannte theils unbekannte Ursachen in dasjenige Gleichgewicht gesetzt, welches wir gegenwärtig als mittlere Temperatur vom Aequator an bis zu den Polen hin mehr oder minder genau aus der Erfahrung kennen, und wird in diesem stabilen Zustande bleiben, entweder weil ein so grofser Körper nur unmerklich erkaltet oder, was mir ungleich wahrscheinlicher dünkt, weil auch die Wärme der Erde vermöge der Gesetze der Anziehung diesen Planeten als eigenthümlich zugehörige Calorisphäre nicht verlassen, und nicht im leeren

1 Ann. de Chim. LXXXV. 72 u. 113.

2 Es ist Th. II. S. 302 schon gezeigt, dafs diese Formel auch für Dampf zu hohe Werthe der durch Compression frei werdenden Wärme giebt.

Raume, wo es keine Anziehung zu ihr giebt, sich zerstreuen kann.

2. Die Sonnenstrahlen sind das wirksame Agens, wodurch die Wärme stets aufs Neue hervorgerufen wird. Die Aetiologie dieses Processes kann zwar erst unter dem Artikel *Wärme* genauer erörtert werden, indeſs ist es nicht überflüssig, hier vorläufig zu bemerken, daſs mir die Sache mehr eine *Aufregung* als eine eigentliche *Production* von Wärme zu seyn scheint. Hiernach wäre es denn leichter erklärlich, daſs sich die gröſsere Wärme allmälig unter dem Aequator aufgehäuft hat, wo diese Aufregung anhaltender und stärker statt findet. Es folgt dann aus dieser Ansicht nothwendig, daſs beim Aufhören der excitirenden Ursache die erregte Wärme sofort durch die Erde wieder gebunden wird, woraus manche gemeine Erscheinungen erklärlich werden. Man leitet meistens die Erkältung, welche bei der Abhaltung der Sonnenstrahlen eintritt, aus einer Strahlung der Wärme ab; allein wenn man an einem heiteren heiſsen Sommertage ein Thermometer auf schwarzes Erdreich in die Strahlen der Sonne legt, so steigt es leicht 10° R. und mehr über die Temperatur im Schatten, und giebt man ihm dann durch ein hinlänglich groſses darüber gehaltenes Bret Schatten, so sinkt es sofort um 5° R. und darüber. Hierbei läſst sich bei umgebenden heiſseren Luftschichten nicht füglich an eine Strahlung denken.

3. Auſser den Winden, welche schon oben als bekannte, die regelmäſsige Erwärmung störende Luftbewegungen angegeben sind, steigen die über der Erdoberfläche erwärmten Luftschichten auf, werden hierdurch expandirt und kälter, jedoch ist ihre dann bleibende Temperatur etwas gröſser, als die ihrer Ausdehnung proportionale seyn würde, theils weil die Temperatur nach oben schneller abnimmt, als nach der Wärmebindung durch Expansion erfolgen müſste, oder, falls diese Differenz gar nicht statt finden oder nur unbedeutend seyn sollte, weil die über der Erde erwärmten Luftschichten bedeutend erhitzt und durch Wärme ausgedehnt sind. Das Aufsteigen dieser wärmeren Luftschichten geschieht aber in der Luft selbst nach bekannten Gesetzen nur langsam, und ist bei weitem am stärksten und anhaltendsten, auch erreichen diese Luftschichten die gröſsten Höhen, wenn anhaltender Sonnenschein die Erde trifft, weswegen nach anhaltend windstillen und heiſsen Tagen warme,

mit vielem Wasserdampf beladene Luftschichten unglaubliche Höhen erreichen, und die Bildung der Gewitter und Hagelschauer bedingen. Im Allgemeinen aber wird hierdurch zunächst um die Erde eine Sphäre verhältnifsmäfsig wärmerer Luftschichten gebildet, so dafs von der Erdoberfläche an gerechnet anfangs gröfsere Höhen für gleiche Unterschiede der Temperatur erfordert werden als bei bedeutenderen Erhebungen. Sobald im Gegentheil die erregenden Sonnenstrahlen zu wirken aufhören, erkaltet der Erdboden, selbst wenn bei völlig bewölktem Himmel keine sogenannte Strahlung nach dem kosmischen Raume hin statt findet, die zunächst berührenden Luftschichten werden kälter, verlieren an Elasticität, und die ganze Luftsäule sinkt tiefer herab. Hierbei ereignet es sich dann sehr häufig, dafs zwischen zwei kälteren Luftschichten eine wärmere schweben bleibt, wie man im Sommer beim Herabsteigen von einem hohen Berge am Abend oft und leicht wahrnimmt. Im Allgemeinen sinken aber die oberen kälteren Lufttheilchen, insbesondere bei ruhiger Atmosphäre herab, und weil diese aus höheren Regionen kommend durch die Verdichtung beim Herabsinken *weniger* Wärme frei machen, als die unteren besitzen, indem nicht blofs die *Wärmebindung* der aufsteigenden Lufttheilchen durch Expansion *geringer* ist, als die, welche dem Dichtigkeitszustande der Höhen proportional gesetzt werden mufs, sondern im umgekehrten Falle auch die *Wärmeentbindung* der herabsinkenden durch Compression, so erzeugen diese die empfindliche Kälte der Nacht, nach Gewittern u. s. w. Endlich ist auch die Erregung der Wärme der Erdoberfläche und die Erwärmung der zunächst berührenden Luftschicht so viel stärker, je weniger Wärme auf Dampfbildung verwandt wird, oder je trockner der Boden ist; ebendaher aber ist ebendaselbst in Gemäfsheit einer blofsen Umkehrung dieses Processes die nächtliche Kälte desto empfindlicher. Dieses zeigt sich vorzugsweise in den Ebenen Asiens nach den Beobachtungen Elphinstone's und anderer Reisender.

4. Weil die Abnahme der Temperatur bei zunehmenden Höhen in Gemäfsheit der unaufhörlichen Luftströmungen und der hierdurch bedingten Mischungen der einzelnen Massen und Schichten der atmosphärischen Luft hauptsächlich, wo nicht ausschliefslich durch die Bindung und Entbindung der Wärme in Folge ihrer Expansion oder Compression bedingt wird, so

mufs im Allgemeinen die Abnahme der Temperatur eine geometrische Reihe bilden, weil sie den Dichtigkeiten proportional ist. Inzwischen bewirken eben die unter vielfachen Bedingungen und kaum zu übersehenden Modificationen aufsteigenden Luftschichten, und deren hiernach vielfach wechselnde Temperatur, dafs sich dieses Gesetz überall durch die Erfahrung nicht auffinden läfst, weswegen auch verschiedene Gelehrte eine harmonische oder eine arithmetische, oder eine zwischen einer geometrischen und arithmetischen liegende Progression anzunehmen geneigt gewesen sind.

5. Die Ursache endlich, weswegen die Bergspitzen so kalt sind, selbst kälter als die Luft in gleichen Höhen, wie auf allen Fall aus Gay-Lüssac's Beobachtungen[1] und auch aus Sacharow's und Beaufoy's minder genauen Messungen hervorgeht, diese ist allerdings schwer aufzufinden. Diejenigen Gründe, welche man gewöhnlich zur Erklärung dieser Erscheinung anführt, habe ich oben angegeben, und zugleich meine Zweifel dagegen geäufsert, welche unter der Voraussetzung, dafs die Wärmeentwickelung durch die Sonnenstrahlen dort bedeutend stark und die Temperatur der umgebenden Luftschichten höher ist als ihre eigene, zu nahe liegen, als dafs ich sie nochmals wiederholen sollte.

6. Wenn es diesemnach als ausgemacht anzusehen ist, dafs die Bergspitzen kälter sind, als die freie Luft in gleicher Höhe, ausgedehnte Hochebenen dagegen bedeutend wärmer wenigstens als die Spitzen der Berge, und dafs sich für das erstere Phänomen um so weniger ein genügender Grund angeben läfst, als aus der Anwendung der bekannten Naturgesetze gerade das Gegentheil folgen müfste, so wird es erlaubt seyn, eine Hypothese einzuführen, welche mir noch aufserdem verschiedene andere, zur Physik der Erde gehörige Schwierigkeiten zu beseitigen geeignet scheint. Ich denke mir nämlich die Erde als einen mit einer eigenthümlichen Wärmeatmosphäre begabten Körper, oder mit andern Worten, die ursprünglich heifse Erde ist durch Be-

---

1 Vergl. Prechtl bei G. LXXVI. 265. Gay-Lüssac fand die Temperatur 0 erst in einer Höhe von 2889 T. über Paris oder in 2909 T. über dem Meere, obgleich diese Höhe die Schneegrenze der Pariser Breite weit und die Spitze des Montblanc um 468,3 T. übertrifft.

dingungen, deren Erörterung als blofs hypothetisch nicht hierher gehört, bis auf den gegenwärtigen Grad ihrer Temperatur erkaltet, und mufs in ihrem jetzigen Zustande der Wärme verharren, weil keine Bedingungen ihres weiteren Erkaltens vorhanden sind. Indem nämlich eine erhitzte Kugel so viel langsamer erkaltet, je weniger leitend das sie umgebende Medium ist, so mufs die Erde, welche im absolut leeren Raume schwebt, gar nicht erkalten. Bei jedem erwärmten, mit Hervorragungen und Spitzen versehenen Körper verlieren aber die letzteren die Wärme am schnellsten, weil ihre Anziehung gegen dieselbe am geringsten ist, und so mufs also die nach gleichen Gesetzen an die Erde gebundene Calorisphäre an den Bergspitzen die geringste Intensität haben. Hiernach nimmt also die Temperatur bei zunehmender Höhe über flachen Ebenen am langsamsten, über ausgedehnten Bergebenen, so fern sie gegen die Masse der Erde nur gröfsere Hervorragungen, gleichsam stumpfere Spitzen sind, schneller[1], auf Bergspitzen dagegen am schnellsten ab, und letztere können auch durch mancherlei günstige Bedingun-

---

[1] Dieser Satz kann nicht blofs zweifelhaft scheinen, sondern man könnte auch in den oben E. a. 1 u. 2. mitgetheilten Beobachtungen v. Humboldt's eine directe Widerlegung desselben finden, indem die dort für 1° C. Temperaturdifferenz angegebenen Höhen gröfser sind, als die von Gay-Lüssac gefundenen. Obgleich dieses richtig ist, so fand doch eben so unzweifelhaft der kühne Aëronaut 0° der Temperatur erst in 17454 P. F. Höhe, mithin über 2000 F. höher als die Schneegrenze unter der Linie. Dafs durch die anhaltende hohe Temperatur der mittleren Breiten die warmen Luftschichten bedeutend in die Höhe gehoben werden können, ist allerdings richtig, allein der angegebene Unterschied ist zu bedeutend, als dafs er hieraus erklärt werden könnte. Ein allerdings unverkennbarer Grund, aus welchem eine gröfsere Erkaltung der Bergspitzen gefolgert werden kann, ist der Schnee, welcher im Winter auf denselben fällt, und die Einwirkung der Sommerwärme mindestens eine Zeit lang hemmt. Allein hiergegen kann man wieder fragen, warum unter dem Aequator, wo es keinen eigentlichen Winter giebt, die Schneegrenze nicht höher hinaufgerückt ist, und warum auf Bergspitzen, welche die Schneegrenze nicht erreichen, und obendrein aus nackten Felsen bestehen, von denen der Schnee alsobald herabgleitet, die Temperatur nicht höher gefunden wird? Im Ganzen mufs man zu der Ueberzeugung gelangen, dafs die Schwierigkeiten der Erklärung sich mehren, je mehr man die einzelnen Phänomene zu vereinigen sich bemühet, und jene werden nicht eher beseitigt werden, bis wiederholte Luftfahrten genauere Thatsachen darbieten.

gen der Erwärmung nicht bleibend auf einer höheren Temperatur erhalten werden, weil die Calorisphäre der Erde sich mit der letzteren als ebenes Sphäroid gedacht stets in einem gewissen Gleichgewichte erhält. Ob endlich diese Colorisphäre gewissen Schwankungen ausgesetzt seyn mag, woraus manche räthselhafte Wechsel der Wärme und Kälte verschiedener Gegenden in einzelnen Jahren erklärt werden könnten, muſs vor der Hand noch unentschieden bleiben.

VI. Bestandtheile der Erde.

Ein eigenthümlicher und ausgedehnter Theil der Naturwissenschaften im Allgemeinen, die *Geognosie*, beschäftigt sich mit der Untersuchung der Bestandtheile unsers Erdkörpers. Diesem muſs das Ausführliche überlassen bleiben, und hier darf nur das Allgemeinste kurz berührt werden.

A. Erdkern.

Woraus der eigentliche Kern unserer Erde bestehe, wird wohl dem menschlichen Forschungsgeiste stets verborgen bleiben. Eine bei verschiedenen Geognosten gangbare Meinung, der Erdkern bestehe aus Granit, läſst sich nicht sowohl aus dem gröſseren spec. Gewichte der Erde, als die des Granit's ist, widerlegen, indem der Druck gegen die unteren Schichten bisher noch nicht bestimmt werden konnte[1], wohl aber findet sie eine Widerlegung in der Erscheinung, daſs basaltische Laven verschiedene Granitgebirge von unten her durchbrochen, und sich über und um dieselben gelagert haben, welche doch nach aller Wahrscheinlichkeit unter dem Granite befindlich seyn muſsten. Einige Geognosten, z. B. Breislak[2] finden es wahrscheinlich, daſs der Erdkern aus Magneteisenstein bestehe. Diese Hypothese scheint im tellurischen Magnetismus eine Unterstützung zu finden, welchen viele Physiker, z. B. L. Euler[3], T. Mayer[4],

---

1 Vergl. oben Nr. IV. *Dichtigkeit der Erde.*

2 Institutions géologiques par Scipion Breislak cet. Milan. 1818. III vol. 8. I. 55.

3 Mém. de Berl. 1757 u. 1766.

4 Nach J. T. Mayer Naturl. §. 610. Vergl. Gott. Gel. Anz. 1762. p. 377. Mollweide bei G. XXIX. 1. ff.

insbesondere aber v. Humboldt, Biot[1] und Hansteen[2] von einem oder mehreren Magneten im Inneren der Erde abzuleiten geneigt sind, desgleichen im spec. Gewichte dieses Körpers, welches Breislak im Mittel = 7 setzt, wonach es also vom mittleren der Erde = 5 nicht viel abweicht. Dafs sich diese Hypothese gut darstellen, auch mit den grofsen Massen gefundener Magneteisensteines, desgleichen mit der mittleren Dichtigkeit der Erde in Einklang bringen lasse, wenn man eine äufsere Rinde von grofser Mächtigkeit und aus leichterem Gesteine bestehend annimmt, ist augenfällig; im Ganzen aber kann sie keinen grofsen Beifall finden. Zuvörderst ist es sehr zweifelhaft, ob sich die täglichen und jährlichen Variationen des Magnetismus mit der Annahme eines magnetischen Kernes in ihrem Innern in Einklang bringen lassen, wie mit Grunde bezweifelt wird[3]. Zudem zeigt sich der Magneteisenstein nicht magnetisch, so lange er im Innern der Erde ist, sondern nimmt diese Eigenschaft erst an, wenn er an die äufsere Atmosphäre kommt[4], auch zeigen solche mächtige unterirdische Lagen keine merkliche Anziehung auf die Magnetnadel, ja der tellurische Magnetismus müfste überhaupt ungleich stärker seyn, als er sich äufsert, wenn der ganze Erdkern, oder nach der Angabe des spec. Gewichtes, das des Magneteisensteines = 7 und das der übrigen Bestandtheile, (die Menge des Wassers und der leichteren Substanzen hoch angeschlagen) = 2, das mittlere aber = 5 gesetzt, $\frac{3}{5}$ der ganzen Erde einen natürlichen bipolaren Magnet bildete. Ferner aber läfst uns diese Hypothese noch über einen sehr grofsen Theil der Erde in Ungewifsheit. Beständen nämlich $\frac{3}{5}$ des ganzen Erdkörpers aus Magneteisenstein, so würde dieser eine Kugel von 810 geog. Meilen Halbmesser bilden, die Rinde aber bis zur Tiefe von 150 Meilen aus andern unbekannten Stoffen bestehen, von denen wir nur sehr wenige kennen, welche die

---

1 Traité cet. III. chap. X. p. 127. ff.

2 Untersuchungen über den Magnetismus d. Erde u. s. w. Christiania 1819. 4.

3 S. Th. I. S. 146.

4 S. v. Leonhard Handbuch der Oryktognosie. Heidelberg 1821. S. 86.

äuſsere Kruste bilden. Daſs einzelne, bis zur Erdoberfläche ragende Lagerungen von Magneteisenstein Fortsetzungen des Kernes aus einer solchen Tiefe seyn sollten, ist ohnehin eine unnatürliche Voraussetzung.

Der angegebenen Hypothese sehr nahe kommend ist diejenige, wonach die Erde im Allgemeinen aus Meteorsteinmasse und Meteoreisen bestehen soll. Zu dieser müssen sich alle diejenigen bekennen, welche nach dem Vorgange der Gebrüder Marschall von Bieberstein und v. Zach's die Erde als ein allmälig entstandenes Conglomerat von Meteorolithen ansehen[1]. Unleugbar läſst sich diese Hypothese mehr als jede andere ausschmücken. Sie wird sehr unterstützt durch die zahlreichen Meteorsteinfälle, welche die geschichtliche Untersuchung nachweiset[2], wonach diese Substanzen gleichsam dem Weltraume anzugehören scheinen, wie die Sonne mit ihren Planeten selbst. Wollte man ferner nach überwiegenden Gründen annehmen, daſs diese schon im planetarischen Raume leuchtenden Massen an sich glühend sind, so käme hiermit die neuerdings sehr wahrscheinlich gemachte Hypothese einer noch jetzt existirenden höheren Temperatur des Erdkerns in Einklang[3]. Das mittlere spec. Gewicht der Erde lieſse sich mit dem der Meteorolithen gleichfalls leicht in Uebereinstimmung bringen, denn obgleich das der eigentlichen Steinmassen nur 3,5 beträgt, und selten auf 4,28 steigt, so muſs man dagegen die groſse Menge des gleichfalls herabfallenden gediegenen Eisens in Anschlag bringen, dessen spec. Gew. im Mittel 7,6 beträgt[4], und woraus also nur $\frac{14}{34}$ mithin nicht völlig $\frac{1}{3}$ der Erde bestände. Auſserdem hat es allerdings etwas Auffallendes, daſs der Olivin sich auf gleiche Weise in dem höchst wahrscheinlich aus der Erdmasse emporgequollenen Basalte ſindet, als in den Meteorsteinen, und daſs überhaupt die Bestandtheile der letzteren manchen Doleriten sehr ähnlich sind[5]. Wenn aber manche Sub-

1 Vergl. *Geologie.*

2 Vergl. *Meteorsteine.*

3 S. oben V. A.

4 Handbuch der Oryktognosie von K. C. v. Leonhard. 2te Aufl. Heid. 1826. S. 713.

5 S. G. Rose in Pogg. Ann. IV. 173.

stanzen, welche die Oryktognosie liefert, als Gold, Silber, Zinn u. s. w. in den bisher untersuchten Meteorolithen noch nicht aufgefunden sind, so muſs man dagegen berücksichtigen, wie gering der Antheil dieser Stoffe im Verhältniſs zur Gesammtmasse der Erde ist. Man dürfte dann ferner nur annehmen, daſs bloſs aus der oberen Kruste der Erde die schwereren Bestandtheile sich allmälig niedergesenkt hätten, um ihr das geringere spec. Gew. derjenigen Steinarten zu geben, welche gegenwärtig die Erdrinde bilden, auch läſst sich selbst die groſse Menge des überall verbreiteten Eisens, welches einen so wesentlichen Bestandtheil der Meteorsteine ausmacht, zur Unterstützung dieser Hypothese anführen, welche jedoch vor der Hand noch nicht über die Grenzen einer bloſsen Hypothese ausgedehnt werden darf.

Zunächst nur als ein Spiel der Phantasie und um die Folgerungen anschaulich zu machen, auf welche die Annahme einer allgemeinen Zulässigkeit des mariotteschen Gesetzes führt, läſst sich endlich die Hypothese betrachten, wonach der Kern der Erde aus atmosphärischer Luft bestehen soll. Franklin[1] hat dieselbe aufgestellt, und Chladni[2] später sie auszuschmücken gesucht. Es läſst sich allerdings leicht darthun, daſs die Luft unter der Voraussetzung einer nach dem Centro der Erde auf gleiche Weise zunehmenden Dichtigkeit, als diese aus einer gegebenen Höhe bis zur Oberfläche der Erde wirklich statt findet, sehr bald die dichtesten Körper an spec. Gew. übertreffen müſste. Aus der Anwendung der bekannten Formel von de Lüc für die barometrischen Höhenmessungen, wonach die Höhe

$x = 10000^{t} \log. \frac{H}{h}$ ist, und welche für diesen Zweck mit Weglassung der Correctionen völlig genügt, wenn ferner nur in genäherten Werthen die Dichtigkeit der Luft an der Erdoberfläche $d = \frac{h}{28\, Z.}$ als Einheit angenommen, das Verhältniſs des Wassers zur Luft aber $= 800 : 1$ und des Platin's zum Wasser $= 20 : 1$, die geographische Meile aber $= 3807$ Tois. gesetzt wird, also aus $\frac{10000}{3807} \log. 800$ und $\frac{10000}{3807} \log. 16000$ findet man nämlich, daſs die Luft in einer Tiefe von 7,6 Meil. schon

1 Transact. of the Soc. of Philadelphia. T. III. 1793.

2 G. LXII. 72.

dichter als das Wasser, in 11,1 Meil. aber schon dichter als selbst das Platin seyn müfste. Es läfst sich daher aus der geringen Dichtigkeit der Luft allerdings kein Einwurf gegen die Zulässigkeit dieser Hypothese hernehmen; allein im Ganzen ist dieselbe doch ganz unhaltbar. Um die Sache überhaupt vorstellbar zu machen, müfste man nämlich annehmen, dafs diese innere Luftkugel irgend einmal durch eine unbekannte und wahrhaft unbegreifliche Ursache in ihre feste Hülle eingeschlossen worden wäre, da die Voraussetzung, die Erde habe sich rund gestaltet, in ihrer Mitte aber eine Oeffnung gelassen, in welche die Luft nachher eingedrungen sey, doch keine eigentliche Widerlegung verdient. Den nämlichen Gesetzen der Schwere und des Druckes aber, denen die Luft der Voraussetzung nach unterliegen müfste, würden auch das Wasser und die sonstigen festen Substanzen unterworfen seyn, und die Säulen derselben von so ungeheurer Länge müfsten nothwendig die Luft aus ihrer Stelle treiben, so dafs die verschiedenen Stoffe sich statisch über einander lagerten, abgerechnet dafs die Luft, wenn sie dichter als das Wasser würde, unmöglich ihre expansibele Form beibehalten könnte. HALLEY's Hypothese endlich [1], wonach die äufsere Erdrinde eine hohle Kugel bildet, in deren innerem Raume eine andere massive Kugel bewegt, der Zwischenraum aber durch dasjenige Licht erhellet wird, welches aus den Polen entweichend sich als Nordlicht zeigt, verdient blofs des berühmten Erfinders wegen eine historische Erwähnung.

Aus diesen Untersuchungen ergiebt sich, dafs wir von der genauen Kenntnifs der eigentlichen Erdmasse noch weit entfernt sind, und selbst noch nicht einmal ein Mittel kennen, nähere Aufklärung über diesen Gegenstand zu erlangen.

B. Erdkruste.

Wenn man von der Beschaffenheit der Erdkruste und den Bestandtheilen redet, welche dieselbe bilden, so stöfst man sogleich auf eine höchst schwierige Aufgabe, nämlich die Tiefe, bis zu welcher man diese Kruste annehmen darf. Bei einem Halbmesser von 860 geographischen Meilen können die äufseren Schichtungen bis zu 10 oder 100, ja selbst 300 Meilen noch zur äufseren Rinde gezählt werden, und bei gänzlicher Unbe-

1 Phil. Trans. No. 195. p. 563.

stimmtheit dieser Gröfse läfst sich nichts Gewisses hierüber festsetzen. Wegen gänzlichen Mangels aller Kenntnifs des Erdkernes und der Bestandtheile unserer Erde in gröfseren Tiefen bleibt es daher am besten, alles dasjenige zur äufseren Rinde zu rechnen, wovon wir wenigstens einige Kenntnifs haben. Der tiefste Punct, bis wohin diese reicht, sind die Herde der Vulcane, deren genaue Tiefe uns zwar unbekannt ist; indefs ergeben die auf gewichtige Wahrscheinlichkeitsgründe gebaueten Schlüsse doch zur Genüge, dafs sie bis einige Meilen tief unter der Erdoberfläche liegen[1]. Die Substanzen, welche aus diesen zur Oberfläche der Erde gelangen, die Laven und sonstigen vulcanischen Producte, weichen zwar in ihren Bestandtheilen, wenigstens die letzteren, zuweilen von einander ab, im Ganzen aber zeigen sie eine so genaue Uebereinstimmung, dafs wir hiernach aus den zu ihrer Bildung erforderlichen Stoffen auf die Beschaffenheit der Erdkruste in diesen Tiefen zu schliefsen berechtigt sind[2].

Aufser diesen wenigen Spuren, welche zu einer Kenntnifs der Bestandtheile der Erdkruste führen, sind uns nur diejenigen Substanzen genauer, und durch die neuesten fleifsigen Forschungen der Geognosten genau bekannt, welche höher liegen, als die durch den Spiegel des Meeres gegebene feste Grenze. Verschiedene Schachte der Bergwerke gehen nämlich zu einer bedeutenden Tiefe herab, z. B. zu *Kitzpühl* in Tyrol bis 1000 Meters, ohne jedoch die Meeresfläche zu erreichen, unter dieselbe aber gelangt man nur selten, z. B. in den Kohlenminen zu *Whitehaven* im Cumberland, und d'Aubuisson[3] glaubt in der Tiefe von 300 Meters unter dem Meeresspiegel, bis zu welcher er in den Minen von *Anzin* bei *Valenciennes* gelangte, die gröfste Tiefe, bis zu welcher man kommen kann, erreicht zu haben. Gröfsere Tiefen sind den Menschen unzugänglich wegen des starken Andranges des Wassers, welches sich überall im Niveau des Meeres findet, wenn es nicht in seltenen Aus-

1 S. *Vulcane*.

2 Dieser Gegenstand kann erst im Artikel *Vulcane* zur näheren Untersuchung kommen. Die Basalte werden hier vorläufig zu den vulcanischen Producten gezählt, wozu überwiegende Gründe vorhanden sind.

3 Traité de Géog. I. 378.

nahmen durch eine feste Thonschicht oder dicht gefügte Felsmassen am Zudringen gehindert wird. Es läſst sich daher auch nicht mit Gewiſsheit ausmitteln, ob die äuſsere Erdrinde überall aus einer gleichmäſsigen Reihenfolge von Schichtungen derselben oder ähnlicher Art besteht, welche dann an den höheren Orten als höher gehoben, an den tieferen niedriger liegend anzusehen wären, und eben weil wir an den letzteren Orten die Lagerungen zu verfolgen nicht vermögen, kann die Frage nicht beantwortet werden. Ihre Annahme würde voraussetzen, daſs in gehöriger Tiefe überall Granit, oder wahrscheinlicher Gneis, als die am tiefsten liegende Gebirgsart, gefunden werden müſste, mithin daſs diese auch das eigentliche, mit verschiedenen andern Gebirgsarten überzogene Becken des Meeres ausmachte. Als Thatsache können wir es indeſs annehmen, daſs an den verschiedenen Orten sowohl an Zahl als auch an Mächtigkeit verschiedene Schichtungen von Gebirgsarten über einander gelagert sind, welche von dem lockeren Sande, der Dammerde und überhaupt von den leichteren zu den schwereren, dichteren und vollkommener krystallinischen mit der Tiefe zunehmen, und mit Granit oder einer verwandten Gebirgsart endigen, wenn die letztere anders erreichbar ist. Oft fehlen indeſs mehr oder weniger, nicht selten alle andere Steinarten, und der Granit bildet unmittelbar die oberste Lage. Der Basalt und verwandte, für vulcanisch gehaltene Felsarten machen eine Ausnahme, und verdienen eine besondere Untersuchung.

Die äuſsere Gestalt der Erdoberfläche steht in keinem bestimmten Verhältnisse zu der Art und Reihenfolge der Lagerungen der Gebirgsarten, obgleich geübte Geognosten die oben aufliegenden, namentlich die Gebirge bildenden Felsarten aus der ersteren zu erkennen vermögen[1]. Zuweilen liegen die einzelnen Erd- und Steinlagen in parallelen Schichten über einander, wie dieses namentlich in einer Gegend bei Paris der Fall ist, und aus der Zeichnung erkannt werden kann. Als merkwürdiger Umstand verdient hierbei noch angeführt zu werden, daſs in den einzelnen wechselnden Schichten bald Ueberbleibsel aus süſsem Wasser, bald versteinerte Seethiere vorkommen, woraus man nothwendig schlieſsen muſs, daſs diese Gegenden

Fig. 182.

1 v. Leonhard Charakteristik der Felsarten. Heid. 1823 u. 24. III Vol. 8. I. 35.

zu verschiedenen Malen mit Seewasser bedeckt waren, ohne dafs noch bis jetzt eine geologische Hypothese diese Erscheinung zu erklären vermochte [1]. Aehnliche wechselnde Formationen fand unter andern Webster unweit London und im südlichen Theile von England [2]. In sehr vielen andern Fällen, vorzüglich bei flacher liegenden Bergen und Thälern bilden die einzelnen Schichtungen muldenförmige Vertiefungen und gewölbte Erhebungeu, wobei die einzelnen Lagerungen in sofern nicht genau parallel laufen, als sie an Mächtigkeit bald zu, bald abnehmen und ganz verschwinden. Die Zeichnung versinnlicht diese häufig vorkommende Erscheinung durch die Darstellung des verticalen Durchschnittes der Gegend zwischen Meziéres und Gueret. Uebrigens zeigt sich diese Erscheinung bei allen bekannten Felsarten mit der Beschränkung, dafs die Urgebirgsarten zwar gleichfalls solche Wölbungen darbieten, jedoch nicht bis auf ihre Unterlage verfolgt werden können, wie die jüngeren Felsarten. Der Anblick solcher Erhebungen hat auf die Idee geführt, dafs die Gebirge durch vulcanische Kräfte von unten herauf gehoben seyn mögten, welcher Hypothese man beipflichten mufs, wenn man nicht annehmen will, dafs der Erdkörper ursprünglich eine unebene Oberfläche hatte, über welche die späteren Schichtungen sich lagerten, und zwar insbesondere diejenigen, welche aus der Zersetzung nnd Zertrümmerung der ältesten Gebirgsarten gebildet sind. Am häufigsten ist es, hauptsächlich bei älteren Felsarten der Fall, dafs die Schichtungen einen gewissen Winkel mit dem Horizonte bilden. Man nennt dieses das *Fallen* derselben, und findet hierbei durch weite Strecken einen wunderbar gleichförmigen Parallelismus der einzelnen Schichtungen, wovon die Durchschnittszeichnung der Gegend zwischen *Snowdon* und *London* ein instructives Beispiel liefert. Dafs übrigens dieses Fallen überall auf der Erde gleich, oder gar aus einer Veränderung der Erdaxe erklärlich seyn sollte, widerstreitet nicht blofs der Erfahrung, sondern Letzteres auch den Gesetzen der Gravitation. Aufser dem Fallen kommt bei den Felsarten insbesondere noch ihr *Streichen* in Betrachtung, worunter man die Längenerstreckung nach einer gewissen Weltgegend, oder den Win-

Fig. 183.

Fig. 184.

1 Cuvier et Brogniard essay sur la géographie minérale des Environs de Paris. cet. Par. 1811. 8. Vergl. G. XLV. 229.

2 Trans. of the Geol. Soc. Lond. 1814. Vol. II.

kel versteht, welchen dieselben mit dem Meridiane bilden. Man mifst denselben gewöhnlich mit dem bergmännischen Compafs, welcher den Horizont in 2mal 12 Stunden theilt und im magnetischen Meridiane mit der Nordspitze in 0 hor. oder 12 hor. anfängt. Vorzugsweise hat sich v. HUMBOLDT mit der Untersuchung der Richtungslinie des Streichens der Felsarten beschäftigt, weil seine früheren Untersuchungen hauptsächlich in Deutschland und Italien ihn zu der Hypothese führten, jene Richtungslinie sey überall dieselbe, und laufe in hor. 3 bis 4. Spätere ausgebreitete Erfahrungen, hauptsächlich im neuen Continente, haben ihn jedoch zu der Ueberzeugung gebracht, dafs in keiner Erdhälfte eine allgemeine und unbedingte Gleichförmigkeit des Streichens herrscht, dafs aber allerdings in ausgedehnten Strecken von einigen Tausend Quadratmeilen ungeachtet vieler Unterbrechungen der nämliche Typus hervortritt[1].

Unter die allgemeinen Bezeichnungen der Felsarten gehört endlich noch ihre Structur[2]. In dieser Hinsicht unterscheidet man zuerst die *Stratificirungen*, welche die sogenannten stratificirten Gebirge bilden. Sie bestehen aus einzelnen, nahe parallelen Schichtungen, die ehemals sogenannten *strata super strata*, bei welchen vor allen Dingen das erwähnte Streichen und Fallen in Betrachtung kommt, nebst ihrer Stärke (Mächtigkeit) und den Veränderungen, welche diese zeigen. Hierzu gehören vorzüglich die secundären Gebirgsarten, als Kalk, Sandstein, Schieferthon, Steinkohlen u. s. w. und von den älteren Gebirgsarten der Gneis, Glimmerschiefer, Thonschiefer u. s. w. Eine zweite Art der Structur ist die prismatische, indem manche Felsarten als rectanguläre Massen, rhomboidale Platten und Säulen von verschiedenen Grundflächen erscheinen. Hierhin gehören vorzüglich die Basalte, Trachyte, manche Sandsteine u. s. w. Endlich ist die Structur sphäroidisch vom irregulär abgerundeten Körper bis zum vollkommenern Sphäroid, wie bei Dioriten, Basalten u. s. w.

Wenn man bei der Untersuchung der Bestandtheile der Erdkruste von einer systematischen Anordnung und genauen Be-

---

1 Geognostischer Versuch über die Lagerung der Gebirgsarten in beiden Erdhälften. Von A. v. Humboldt. Deutsch durch v. Leonhard. Strafsb. 1823. 8. S. 60. Vergl. Voy. X. 242.

2 S. D'Aubuisson Traité de Géognosie. I. 319.

schreibung der verschiedenen Felsarten abstrahirt[1], und dieselben nur aus dem Standpuncte des Physikers betrachtet, um eine allgemeine Uebersicht der Beschaffenheit unseres Erdballes zu geben, zugleich auch die Bildung und allmälige Veränderung der Erde dabei berücksichtigt, so wird folgende Darstellung für diesen Zweck genügen[2]. Man unterscheidet nämlich

1. *Urgebirgsarten*, oder solche Gebilde, welche ungleich früher als andere entstanden zu seyn scheinen, und sich im Allgemeinen durch das Starre, Unbelebte und gleichsam Rohe ihrer Massen unterscheiden, im Ganzen auch am tiefsten gelagert sind, und in vielen Gegenden die höchsten Hervorragungen und zackigsten Bergspitzen bilden. Zu ihnen gehört

a. Der *Granit*, eine aus krystallisirtem Feldspath, Quarz und Glimmer gemengte Gebirgsart von körnig-krystallinischem Gefüge, mit vielen stellvertretenden oder beigemengten Theilen. Er erscheint meistens in unförmlichen rohen Massen, zackigen Felsenspitzen, Säulen und durch Zerklüftungen entstandenen mächtigen Lagen und Bänken. Nur selten und nicht eben weit verbreitet zeigen sich Schichtungen desselben. Die ältere Meinung, daſs der Granit ganz allgemein die unterste Gebirgsart sey, ist durch neuere Untersuchungen nicht bestätigt, indem man ihn vielmehr zuweilen auch über Gneis, Glimmerschiefer, Porphyr, Thonschiefer gelagert, mit denselben wechselnd und von ihnen, wie auch von einigen andern Gesteinen durchzogen findet[3]. Er verwittert sehr ungleich, mancher schwer, anderer

---

1 Ich kann dieses hier um so mehr übergehen, als dieser Gegenstand neuerdings in einem classischen Werke: Charakteristik der Felsarten von K. C. v. Leonhard. Heid. 1823. III. Vol. 8. vollständig bearbeitet ist. Ein Auszug daraus würde immer nur mangelhaft, und doch hier zu weitläufig seyn.

2 Dabei folge ich hauptsächlich dem eben angezeigten Werke, desgleichen den früher angegebenen von v. Humboldt und von d'Aubuisson. Die Classification selbst ist entlehnt aus Voyage au Régions équinoxiales du nouveau Continent par A. de Humboldt et A. Bonpland. Tome X. Par. 1825. 8. p. 252.

3 Eine auffallende Lagerung der Gebirgsarten über einander zeigt sich nach L. v. Buch bei Christiania in Norwegen, wo sie von oben herab folgende ist: Zirkonsyenit, Granit, Porphyr, Sandstein, Kieselschiefer, dichter grauwackenähnlicher Thonschiefer, Thonschiefer und schwarzer Orthoceratiten-Kalkstein und endlich Granit. S. dessen Reisen I. 141. Gänge von Granit im Urthonschiefer findet man

sehr leicht, bildet zuerst einen grobkörnigen Grus und dann fruchtbares Erdreich.

Der *Topasfels*, aus Topas, Quarz und Turmalin von körnig-schiefrigem Gefüge gemengt, ist nur als eine Abart des Granites zu betrachten.

Sehr viele Aufmerksamkeit haben von jeher die sehr zahlreichen Granitblöcke[1] erregt, welche sich in allen Welttheilen weit von granitischen Bergen und an solchen Orten finden, daſs man nicht leicht begreift, wie sie an ihre gegenwärtige Lagerstätte gekommen sind. Sehr viele derselben findet man in den niedersächsischen Ebenen und überhaupt an der Küste des Baltischen Meeres bis nach Twer hin, auch gehört dazu der ungeheure Block, welcher im Finnischen Meerbusen gefunden zur Grundlage der Statüe Peters des Groſsen in Petersburg benutzt wurde. Sie sollen nach Hausmann und L. v. Buch ihrer Beschaffenheit nach den skandinavischen Graniten angehören[2]. In groſser Menge finden sie sich ferner am Jura und überhaupt in der Schweiz, liegen stets isolirt und nie in Puddingstein eingeschlossen, aber oft mit Dammerde bedeckt, von jeder Gröſse bis zu 50000 Cub. F. ohne daſs ein Verhältniſs zwischen ihrer Gröſse und der Höhe des Fundortes statt findet. Solche Geschiebe bestehen an vielen Orten nicht bloſs aus Granit, sondern auch aus Gneis, Syenit, selbst aus secundären Gebirgsarten, liegen bis 4000 F. über der Meeresfläche, und sollen den hohen Bergspitzen in ihrer Nähe ähnlich seyn[3]. Nach L. v. Buch findet sich ein Block auf dem Berge Pierre-à-Bot bei Neufchatel, 800 F. über dem See, welcher 40 F. hoch, 50 F. lang und 20 F. breit ist, also doppelt so groſs als der im Finnischen Meerbusen gefundene[4]. Man findet sie ferner zahlreich in Frankreich, in China, in America[5]. Der gröſste bekannte Block ist der soge-

---

auf der schottischen Insel Arran. S. Necker de Saussüre Voy. en Écosse. II. 49.

1 Da die Untersuchung über diese räthselhaften Geschiebe auf eine unmittelbare Anwendung physikalischer und mechanischer Gesetze führt, so glaube ich sie nicht übergehen zu dürfen.

2 D'Aubuisson Traité de Géog. I. 232.

3 Escher in Neue Alpina I, 1.

4 Mém. de Berlin. 1817. Vergl. de la Metherie Théorie de la Terre Par. 1795. V Vol. 8. II. 223.

5 Untersuchungen über den Ursprung und die Ausbildung der

nannte Pearl-Diamond, 30 engl. Meilen vom Vorgebirge der guten Hoffnung, welcher 0,5 engl. Meilen im Umfange und 400 F. Höhe hat[1].

Ueber die Art, wie sie an den Ort ihrer jetzigen Lagerstätte gekommen sind, hat man verschiedene Hypothesen aufgestellt. Nach dem älteren DE LÜC[2] sollen sie durch gewaltsame Explosionen aus dem Innern der Erde, nach L. v. BUCH[3] durch Wurfkräfte von den vorhandenen Granitbergen (also die an der Küste des Baltischen Meeres von Skandinaviens Küsten) fortgeschleudert und umhergestreuet seyn. Aehnlich ist die Meinung J. A. DE LÜC's d. J., wonach sie an dem Orte ihrer jetzigen Lagerung durch Explosionen der Dämpfe als Bruchstücke der Erdrinde emporgeschleudert seyn sollen[4]. Allein nach den Gesetzen der Ballistik ist bei dem Widerstande der Luft eine solche Wurfkraft unmöglich. Nach v. SAUSSÜRE[5], WREDE[6], VENTURI[7] u. a. sind sie durch Hülfe des erleichternden Eises und der Holzmassen vermittelst der Gewalt der Gewässer an ihre jetzige Lagerstätte gekommen, welcher Meinung im Ganzen auch ESCHER[8] rücksichtlich der Blöcke auf dem Jura huldigt, indem er noch ferner aus dem Verhältnisse ihrer Lagerungen zu der Richtung der Thäler darzuthun sucht, wie sie durch die gewaltsamen Strömungen seitwärts geworfen seyn sollen. Daſs Wasserfluthen wo nicht stets, doch oft, beim Transporte dieser Blöcke behülflich waren, ist höchst wahrscheinlich, ob sie aber alle durch solche Strömungen von noch bekannten gleichartigen Gebirgen herabgeführt sind, wie ESCHER annimmt, dagegen entscheidet sehr die weite Entfernung ihrer

---

gegenwärtigen Anordnung des Weltgebäudes v. C. W. und E. F. L. MARSCHALL v. BIEBERSTEIN. Darmst. 1802. S. 81.

1 Phil. Trans. 1778. p. 102.

2 Lettres CXIII.

3 Mém. de Berlin 1817. Ann. Chim. et Ph. VII. 17. X. 241.

4 Ann. Chim. et Phys. VIII. 134. Vergl. Naturwissenschaftl. Anzeiger der Schweizergesellschaft. I. 8. G. LXI. 373.

5 Voy. §. 208—212.

6 Geologische Resultate aus Beobachtungen über einen Theil der südbaltischen Länder. Halle 1794. 8. S. 44 ff.

7 Memor. intorno ad alcuni fen. geol. Pavia 1817.

8 a. a. O. Vergl. Bibl. univ. XXI. 259. G. LXV. 113. HALL in Edinb. Phil. Tr. 1813.

jetzigen Lagerstätte, und das Zwischenliegen von Thälern und bedeutend hohen Bergen. Dolomieu nimmt daher an, die zwischenliegenden Thäler seyen früher ausgefüllt gewesen, so dafs sie auf der geneigten Ebene herabgleiten konnten. Nach den neuesten Ansichten der meisten Geognosten sind sie auf dem Eise schwimmend von fernen, hauptsächlich nördlichen, Gegenden an ihre jetzigen Fundorte gelangt, welche Hypothese dadurch unterstützt wird, dafs man grofse Massen dieser Art auf dem Treibeise der Polarmeere wirklich herumtreibend gesehen hat. Das letztere Factum ist zwar gewifs, allein die Hypothese erklärt nicht einmal den Transport der Blöcke an den Küsten des Baltischen Meeres. War nämlich der Spiegel des Meeres zur Zeit, als jene Steine bewegt wurden, nicht höher als jetzt, so ist die Sache unmöglich; war er aber höher, so konnte im offenen Meere das Polar- oder nördliche Treibeis nicht bis dorthin gelangen, indem zwar die Ostsee in seltenen Fällen gefriert, aber blofs als eingeschlossenes Meer. Denken wir uns dasselbe mit dem atlantischen Meere durch höheren Stand vereinigt, so konnte es eben so wenig gefrieren, als dieses, und das Treibeis, noch dazu in solchen Massen, als zum Transporte dieser Blöcke erforderlich seyn würden, gelangt bekanntlich nicht einmal bis zu den Schottländischen Inseln, viel weniger also bis nach Hannover, Potsdam, Wittenberg u. s. w. Dafs aber diese Hypothese nicht ausreiche, um das Vorkommen derselben auf dem Jura, in Frankreich, China oder gar in der Nähe des Vorgebirges der guten Hoffnung zu erklären, fällt ohne Weiteres von selbst in die Augen. Mir scheint daher noch immer d'Aubuisson's[1] Ansicht die genügendste zu seyn, wonach sie Bruchstücke zerstörter Granitberge in gröfserer oder geringerer Entfernung von ihrer gegenwärtigen Lagerstätte sind, welche, selbst verwittert, diese Ueberbleibsel zurückgelassen haben. Dafs sie bei einem früheren Wasserstande oder auch durch andere Fluthen, von deren Wirksamkeit noch sonstige mehrfache Spuren vorhanden sind, fortgestofsen, in manchen Fällen ganz eigentlich fortgeschwemmt seyn mögen, dafs sie

---

1 a. a. O. Vergl. Schweigg. J. XXV. 16. Hiermit im Einklange steht die eigenthümliche Lage der bekannten Granitblöcke in Cornwallis, und Mac-Cullochs Erklärung der Art, wie sie an ihren jetzigen Ort gekommen sind. S. Brewster's Journ. V. 46.

ferner mitunter durch Hülfe des anhaltenden Eises fortgeschoben, zuweilen selbst vom Wasser fortgetragen wurden, endlich durch den Andrang und Stofs der Wasserwellen, wie noch jetzt die grofsen Granitfelsen an den skandinavischen und brittischen Küsten, gehoben, auch wohl fortgestofsen, mit Sande unterlagert und oft über denselben hingerollt wurden, wodurch zuletzt die Spuren ihres Ursprunges gänzlich verloren gingen, wird durch diese Hypothese keineswegs ausgeschlossen. Auf allen Fall fällt die Zeit, in welcher sie ihre jetzigen Plätze erhielten, bei den meisten so hoch hinauf, dafs es schwer ist, den damaligen Zustand der Erdrinde noch jetzt mit völliger Gewifsheit anzugeben. Daneben liegt mindestens ein Theil des Grundes ihrer Aehnlichkeit unter einander in dem Umstande, dafs nur diejenigen Arten auf diese Weise erhalten wurden, welche am schwersten verwittern.

Horfels, ein Gemenge aus splittrigem Quarz, Feldstein und wenigem Turmalin, findet sich auf Granit gelagert.

Dem Granite kann der Quarzfels angereihet werden. *Quarzfels*, *Quarzgestein*, besteht aus reinem oder mit Glimmerblättchen untermengtem Quarze, und findet sich unmittelbar auf Granit gelagert, oder auch im Gneis, Glimmerschiefer und Thonschiefer. Zu ihm gehört der *Itakolumit*[1] oder *Gelenkquarz*, auch *biegsamer Sandstein* genannt, welcher in grofsen Massen in Brasilien vorkommt, und aus Quarz und Talk oder Chloritschiefer nach Art des Glimmerschiefers gemengt ist, seine Biegsamkeit aber dadurch erhält, dafs die Theile des letzteren die ersteren gelenkartig umschliefsen. Der *Eisenglimmerschiefer*, ein Gemenge aus Eisenglimmer und Quarz, von körnig-schiefrigem Gefüge, kommt nur in Brasilien vor, und steht ohngefähr auf gleicher Altersstufe als der Itakolumit.

b. *Gneis* (Gneus) besteht aus Feldspath und Glimmer oder aus Feldspath, Quarz und Glimmer, welche in körnig schiefrigem Gefüge verbunden sind. Meistens besteht derselbe aus Lagen von Glimmer mit solchen von Quarz und Feldspath wechselnd, mit verschiedenen Abänderungen rücksichtlich des Quan-

---

1 Ein indisches Wort vom Berge Itakolumi, welcher daraus besteht. Dieser Berg, dessen Name von Ita der Stein und Kolumi der Sohn gebildet ist, weil derselbe einen kleineren Theil des höchsten steilen Gebirges ausmacht, liegt bei Villa Ricca in Brasilien.

titativen dieser Bestandtheile; jedoch ist der Glimmer in ihm meistens in gröſserer Menge vorhanden, als im Granite. Er zeigt im Allgemeinen regelrechte Schichtungen, wie sie seiner schieſrigen Textur zukommen, bildet weniger zackige und hohe Gebirge als der Granit, und kommt häufig mit dem letzteren vereinigt vor.

c. *Glimmerschiefer*, aus Quarz und Glimmer zusammengesetzt, von sehr kenntlich schiefrigem Gefüge. Er ist ausgezeichnet geschichtet, und enthält unter allen Urgesteinen die meisten fremdartigen Lager, liegt aber selbst meistens auf Gneis, seltener auf Granit, und wechselt selbst mit Thonschiefer. Sein Vorkommen ist sehr häufig, und er bildet meistens die hohen wellenförmigen Bergebenen, welche die steilen Granitgebirge verbinden.

Anhangsweise lassen sich hier anreihen der *Chloritschiefer* und der *Talkschiefer*. Der erstere besteht aus bloſsem Chlorit mit zufällig beigemengten Theilen, von lauch- berg- oder schwärzlich-grüner Farbe und schiefrigem Gefüge. Er kommt nur selten als selbstständige Gebirgsart vor, und findet sich als Lager auf Granit, hauptsächlich im Glimmerschiefer, auch im Gneis und Thonschiefer. Der *Talkschiefer* oder *schiefriger Talk*, von weiſser, grüner und ins Röthliche übergehender Farbe, gehört theils zu den Urgebirgen, theils zu den Uebergangsformationen, und bildet sowohl ganze Berge als auch nur einzelne Lager. Auch der *Eklogit* oder *Smaragditfels*, aus Diallagon und Granat, von krystallinisch-körnigem Gefüge, findet sich theils im Gneis, theils im Glimmerschiefer gelagert.

Den Glimmerschiefer-Gebilden läſst sich ferner der *Dolomit* anreihen. Er besteht aus kohlensaurem Kalke mit kohlensaurem Talke, ist weiſs, von körnigem Gefüge, brauset schwach mit Säuren, und um so weniger, je gröſser der Gehalt an Talk ist[1].

1 Der Dolomit hat seinen Namen von Dolomieu, welcher diese Felsart vorzüglich untersuchte. Er gehört ungleichen Altersstufen an. Insbesondere der neuere ist mit vielen drusenartigen Räumen erfüllt, frei von fremdartigen Beimengungen und überhaupt leer von Versteinerungen. Der Dolomit verwittert leicht, und Schichtungen desselben kommen nur beim älteren vor. Letzterer ist nur stellenweise, der neuere ungleich häufiger verbreitet, und gehört zu den Kalken der Flözzeit.

d. *Urthonschiefer*, wozu nur ein sehr geringer Theil des Thonschiefers überhaupt gehört, erscheint fast als gleichartiges Gestein wegen der Feinheit und innigen Mengung seiner Bestandtheile, nämlich Glimmer, Quarz, Feldspath und Talk. Seine Textur ist ausgezeichnet schieferig, und er verwittert durch Zerspaltung in die feinsten Blättchen. Bloſs da, wo er den ältesten Urfelsen näher liegt, zeigen sich noch Spuren einer Krystallisation des Glimmers; dort ist er dann auch ganz frei von Versteinerungen, welche indeſs auch in dem jüngeren nur als einzelne Exemplare vorkommen. Aus ihm sind groſse Bergebenen und rundliche Bergkuppen gebildet, nie hohe zackige Felsen.

e. *Granulit*, eine dem Granite verwandte körnige, weiſse Felsart, hat als Hauptbestandtheil Feldstein oder dichten Feldspath, und heiſst von seiner Farbe auch *Weiſsstein* nach Werner oder *Eurit* bei den Franzosen. Im Ganzen ist er wohl nur eine Abart des Granites.

f. *Serpentin* galt bis jetzt meistens für ein sehr inniges Gemenge aus sogenanntem Diallagon und Feldstein, und unterscheidet sich daher vom *Gabbro* nur durch sein höchst feines Korn.

g. *Hornblendeschiefer* besteht aus krystallinischer Hornblende, ist von schwarzer, ins Grünliche spielender Farbe, und deutlich geschichtet, bildet selten selbstständige Gebirge, mehr aber mächtige Lager im Gneis und Glimmerschiefer. Das *Hornblendegestein*, aus bloſser Hornblende bestehend, mit verschiedenen fremdartigen Einmengungen, schwarz ins Grünliche spielend, ist ihm verwandt, und findet sich im Gneis und Glimmerschiefer gelagert.

h. *Grünstein*, auch *Diorit* und *Urtrapp* genannt, kommt nur in kleinen Lagen als Urgebirge vor.

2. *Uebergangsgebirgsarten*, oder solche, welche zwischen den Urgebirgen und den Felsarten der secundären Bildung in der Mitte liegen. Im Ganzen zeigen diese viele Aehnlichkeit mit den Urfelsen. Sie sind im Allgemeinen aus Trümmern und fremdartigen, durch Zerstörung der Urfelsen erst dargebotenen Bestandtheilen zusammengesetzt, und müssen daher später als diese gebildet seyn. So wie aber bei den Urgebirgen keine feste Grenze aufzufinden ist, wonach man genau die Reihenfolge ihrer Bildung bestimmen könnte, so zeigt auch die Untersuchung der Uebergangsfelsarten, daſs den einzelnen Species ein verschiedenes Alter zugehört, indem einige sich mehr

den Urfelsen, andere den secundären Gebilden nähern. Zu ihrer Classificirung berechtigt aber hauptsächlich das Lagerungsverhältnifs, indem sie sämmtlich über den Urgebirgsarten und unter den secundären Felsarten gelagert sind. Neuerdings hat v. Humboldt über diese und ihre Lagerungsverhältnisse, wie sie durch ihn selbst und andere geübte Geognosten in America, Asien und Europa aufgefunden sind, lehrreiche Bemerkungen mitgetheilt[1]. Es werden hierhin gerechnet:

a. *Grauwacke*, eine sandsteinartige Felsmasse, besteht aus gröfseren und kleineren, bis zu den kleinsten, Stücken von Quarz, Thonschiefer, Glimmerschiefer, Feldsteinporphyr, Granit und Kalkstein, welche in einer Thonschiefermasse zusammengebacken sind, von grobkörnigem bis zum feinkörnigsten Gefüge, meistens grau, zuweilen röthlich braun, fest und hart, nicht schieferig und selten porös. Versteinerungen finden sich selten und nur in einzelnen Exemplaren in ihr, dagegen ist sie reich an Gängen und unter diesen auch erzführenden, und es ergiebt sich leicht aus ihrem Gesammtcharakter, dafs sie durch Vereinigung zerstörter älterer Felsmassen gebildet ist.

b. Neben *kalkhaltigem Schiefer* gehört der *Grünstein* zur Uebergangsformation. Er wird auch *Diorit* (von διορίζω, distinguo, definio, weil seine Bestandtheile sich an Farbe und Gefüge so verschieden zeigen) genannt, ist theils grob- theils feinkörnig, bietet selten kenntliche Schichtungen dar, erscheint wie der Granit in zerklüfteten, oft stark abgerundeten Massen, kommt häufig vor und bildet kleinere meistens abgerundete Berge. Zu ihm gehört der *Dioritschiefer*, welcher in mächtigen Lagern seltener auf Granit, häufig auf Gneis vorkommt.

Zu den Uebergangsgebirgen gehören ferner noch folgende verbundene und mit einander parallel laufende Formationen.

c. Wechselnde Schichten von *körnigem* und *talkigem Kalke*. Der körnige Kalk, sonst auch *Urkalk*, *salinischer Marmor* genannt, unterscheidet sich von den zahlreichen Kalkgebilden durch sein krystallinisches Gefüge, welches bald grob- bald feinkörnig erscheint, und nur selten schiefrig, wenn er mit Glimmerblättchen gemengt ist. Dafs er keine Petrefacten

---

1 Geognostischer Versuch über die Lagerung der Gebirgsarten in beiden Erdhälften. Deutsch durch v. Leonhard. S. 103. ff.

enthält, die in den neueren Kalksteinen so häufig vorkommen, aufserdem im Granit und andern primitiven Felsarten gelagert vorkommt, entscheidet für sein hohes Alter. Neben *Kohlenblende - haltigem Glimmerschiefer* und *Grauwacke* gehört hierzu ferner nach der *Anhydrit*. Man rechnet ferner auch den körnigen, schuppigen, ins Blättrige übergehenden, *Gyps* zum Urgypse und zum Uebergangsgypse. Ob es den ersteren giebt, ist zweifelhaft, und v. Humboldt führt ihn nicht als solchen auf. Der ältere Gyps ist mitunter deutlich geschichtet, und führt verschiedenartige Beimengungen, findet sich in und auf Kalk und Thonschiefer, zwischen Grauwacke oder auf Feldsteinporphyr.

d. *Thonschiefer* gehört der Uebergangsperiode gleichfalls an, nebst dem *Kieselschiefer* (*Jaspisschiefer, Lydischer Stein*), welcher aus Kieselmasse mit mehr oder weniger Thon - Kohlenstoff- oder Eisenoxyd - Gehalt besteht, hiernach verschieden gefärbt, meistens aber schwarz ist, in Thonschiefer übergeht und sich in ihm gelagert findet; ferner *schwarzer Kalkstein*, oder *Uebergangskalk*, eine reine dichte Kalkmasse, selten körnig, von bläulicher und schwärzlicher Farbe mit weifsen Adern durchzogen, selten roth oder gelblich. Er findet sich zuweilen in grofsen Lagern ganz frei von Petrefacten, zuweilen aber enthält er sie in grofser Menge, ist selten geschichtet und der Verwitterung sehr ausgesetzt, kommt sehr häufig vor, und bildet sowohl Bergkuppen, als hohe und spitze Felsen. Ferner gehört dazu *Grauwacke* nebst *Grünstein* und *Syenit*. Letzterer ist benannt von *Syene*, dem heutigen *Essen* oder *Assuan* in Oberägypten, woher die zu den Obelisken genommenen Steine kamen. Er wird wohl mit Granit verwechselt und den Urfelsen beigezählt. Die wesentlichen Bestandtheile desselben sind Feldspath und Hornblende, welche ein grob - oder feinkörniges Gemenge bilden, von schwärzlichem Ansehen und verschiedene Einmengungen enthaltend. Die Felsart ist selten geschichtet, meistens neben Granit, nicht häufig über demselben gelagert, ragt auch nicht so weit über die Oberfläche des Meeres als dieser. Dem Syenit nahe verwandt ist der *Aphanit* (von *αφανίζειν* verschwinden, weil die Kenntlichkeit der Gemengtheile aufhört), welcher aus Feldstein und Hornblende besteht, mit eingemengten Feldspath - und Hornblende - Krystallen, von Farbe dunkelgrün ins schwärzliche ist, sich vorzüglich über Sye-

nit und Diorit gelagert findet, und meistens steile, fast senkrechte Klippen bildet.

Der *Uebergangsgranit* gehört gleichfalls hierher. Man war anfangs gewohnt, den Granit allgemein als älteste Felsart zu betrachten, allein es ist zuerst durch Leop. v. Buch[1] und Hausmann[2] aufser Zweifel gesetzt, dafs der Granit auch über andern Gesteinen gelagert vorkommt. Sie fanden ihn namentlich bei Christiania über Orthoceralitenkalke liegend, nachher hat ihn auch v. Humboldt[3] über Gneis, John Davy[4] über Schiefer und Vargas Bedemar[5] mit Eisensteinschichten wechselnd gefunden. Es mufs hiernach also Granit von verschiedenem Alter geben, und es leidet keinen Zweifel, dafs einiger auch zur Uebergangsformation gehöre[6].

Porphyr, welchen manche Geognosten, zum Theil wenigstens, den Urfelsen beizählen, wird durch v. Humboldt gleichfalls zu den Uebergangsgebilden gerechnet. Er besteht aus Feldstein oder dichtem Feldspath als Hauptmasse, in welche, wie in einen Teig, Quarz-Krystalle und Körner, Feldspath-Krystalle, zufällig auch Hornblende- und Glimmer-Theile, gleichsam eingebacken sind. von Humboldt fand ihn in America unmittelbar auf Granit liegend. Verwandt ist ihm der *Pyromerid* von Corsica, welcher aus einem Teige von Feldstein mit wenigen quarzigen Einmengungen und eingeschlossenen Kugeln aus Feldspath oder aus Feldstein und Quarz besteht.

e. *Gabbro* (*Euphotide*, *Verde di Corsica*), aus Feldstein und sogenanntem Diallagon, oder aus Feldstein, Feldspath und Diallagon gebildet, von körnigem Gefüge, steht vorzüglich dem Serpentin nahe, und geht häufig in diesen über. Nach seinen Lagerungsverhältnissen findet er sich an der Grenze der Ur- und Uebergangsgebirge, so wie der letzteren und der Flötzgebirge, bildet steile Berge und findet sich in allen Welttheilen.

f. Endlich rechnet v. Humboldt hierher die Lagerungen

---

1 Reise durch Norwegen und Lappland. I. 141.

2 Reise durch Scandinavien. a. v. O.

3 Reisen d. Ueb. III. 196.

4 G. LXVI. 129.

5 Reisen. II. 246.

6 S. d'Aubuisson Traité de Géognosie. II. 226. wo noch mehrere Beispiele angeführt werden.

von *Pyroxen-Porphyr* mit gewissen *Mandelsteinen* und *Zirkonsyenit*.

3. *Secundäre Formationen* nennt man solche, deren Entstehen in Zeiten fällt, als die älteren Schichten schon gelagert waren, und sowohl zur Erzeugung von Pflanzen als auch zum Wohnorte von Thieren dienten. Im Allgemeinen bilden sie zwei Hauptclassen, nämlich Sand- und Kalk-Steine, welche indefs von verschiedenem Alter sind, und auch hierbei ist die Begrenzung nicht so scharf, dafs sich die secundäre Felsart überall genau von den Uebergangsgebilden unterscheiden liefse, oder man ihr Alter mit völliger Gewifsheit bestimmt angeben könnte. Die verschiedenen Sandsteinarten scheinen übrigens aus den abgerundeten Bruchstücken, insbesondere den quarzigen, der Urgebirge entstanden zu seyn, welche an ihrer gegenwärtigen Lagerstätte aufgehäuft zu den jetzigen Steinmassen verbunden wurden. Die Kalksteingebilde sind in ungeheurer Menge vorhanden, und werden nach der Verschiedenheit ihres Alters zuweilen durch Zwischenlagen von Gyps, Thon, Sandstein u. s. w. getrennt; oft läfst sich ihr Alter hiernach, hauptsächlich aber nach den Resten der Thierwelt bestimmen, welche sie einschliefsen.

a. *Aelterer Sandstein*, auch das *rothe- graue- weifse- Todtliegende* genannt. Er ist bald grob- bald feinkörnig, und geht selbst in Trümmergestein über. Die gröfseren bis zu den kleinsten abnehmenden, ihn bildenden Körner sind durch einen eisenschüssigen, braunlichrothen oder graulichweifsen, zuweilen etwas kalk- und mergelhaltigen thonigen Teig gebunden, worin eingemengte Glimmerblättchen vorkommen, die Trümmer in ihm sind den umliegenden älteren Felsarten ähnlich, und daher verschiedenartig an Masse und Gestalt. Von zufälligen Einmengungen findet man ihn meistens frei, auch enthält er nur selten einzelne Ueberbleibsel älterer Vegetabilien und Thiere; um so merkwürdiger sind die ganzen Baumstämme, welche sich in ihm mitunter von 3 F. Durchmesser und 15 F. Länge namentlich da finden, wo er schieferartiger wird, z. B. im Kiffhäuser bei Stolberg, im Nesselberge in Thüringen u. s. w. Er zeigt deutliche Schichtungen, welche zuweilen waagerecht liegen, und bildet Gebirgszüge von 5000 bis 6000 F. Mächtigkeit mit schroffen Felsen und steilen Gebirgsrücken am Fufse von Ur- und Uebergangsgebirgsketten.

Mit ihm auf gleicher Altersstufe steht der *Kohlensandstein*, ein feinkörniges Gebilde hauptsächlich aus abgerundeten Quarzkörnern bestehend, welche in einem grauen, schieferthonartigen Bindemittel meistens nur lose vereinigt sind; von grauer, ins Weifse übergehender und zuweilen durch Eisenoxyd röthlicher Farbe, schliefst Ueberbleibsel aus dem Pflanzenreiche und auch Muscheln ein, und scheint ein eigenthümlicher, in ungleichen Zeiten gebildeter Absatz des älteren Sandsteines zu seyn. Er macht im Wechsel mit *Schieferthon* und *Kohlen* (Schwarzkohlen) das *ältere Kohlengebilde* aus.

Der *Schieferthon*, auch *Kohlenschiefer*, *Kräuterschiefer* genannt, ist ein verhärteter, Kohlenstoff oder Bitumen enthaltender, Thon von schieferiger Structur, schliefst hauptsächlich Ueberreste aus dem Pflanzenreiche in wohlerhaltenen Abdrücken ein. Als eine Abart desselben ist der mit Bitumen stark geschwängerte, und daher brennbare, *Brandschiefer* anzusehen.

b. *Zechstein*, *Alpenkalk*, *Flötzkalk*, ein dichter Kalkstein von verschiedener Farbe, gröberem oder feinerem splitterigen Bruche, meistens rein von fremdartigen Beimischungen, zeigt sich sowohl in einzelnen Schichten als auch in weit ausgedehnten Gebirgsstrecken leer von Petrefacten, zuweilen aber auch mit einer Menge Ueberbleibsel früherer Meeresgeschöpfe erfüllt. Er ist nicht allezeit geschichtet, oft stark zerklüftet, wird vom Regenwasser allmälig weggewaschen oder vom fliefsenden Wasser weggespült, so dafs sich grofse Höhlungen in diesen Bergen bilden. Man findet ihn in grofser Menge über den Erdball verbreitet, und zu bedeutenden Bergen aufgehäuft. *Kupferschiefer*, aus Kalk und Thon bestehend, mit Bitumen und verschiedenen metallischen Substanzen, hauptsächlich Kupfer und Eisen durchdrungen, von braunlich- blaulich- und graulichschwarzer Farbe, schliefst häufig einzelne versteinerte Fische und Muscheln ein, ist am häufigsten über dem älteren Sandsteine unmittelbar gelagert, verwittert leicht an der Luft und bildet dann eine schwarze Erde. *Stinkstein*, eine dichte Kalksteinfelsart von brauner, grauer oder schwärzlicher Farbe, welcher beim Reiben oder Erwärmen einen widerlichen, von beigemengtem Schwefel oder Bitumen herrührenden, Geruch verbreitet. Man findet ihn neben Alpenkalk in kleinen Lagern, aber auch zu ganzen Hügeln aufgehäuft. Ihm kann als ähnliches Gebilde der *Rauhstein* beigezählt werden, welcher zwischen Dolomit und

Stinkstein in der Mitte steht, ein thonig kieseliger Kalkstein mit wenig Bitumen. Desgleichen *Asche*, eine erdige Auflösung des Stinkkalkes, welche in Lagern von 3 bis 9 F. Mächtigkeit zwischen Stinkkalk und Alpenkalk oder Gyps gefunden wird. Auch der *körnige Gyps* gehört hierher.

c. *Bunter Sandstein*, von den Streifen und farbigen Zeichnungen in demselben benannt, aus kleinen, sehr gleichförmigen, rundlichen Quarzkörnchen bestehend, welche durch ein, meistens thoniges, oft eisenschüssiges, Bindemittel vereinigt sind, von verschiedener Farbe und Härte. Er ist fast frei von zufälligen Beimischungen und Petrefacten, kenntlich geschichtet, und kommt häufig in mehr oder minder mächtigen, niederen, von Thälern durchschnittene Berge bildenden Lagern vor, und wechselt mit häufigen Kalklagern.

Roggenstein, runde, aus concentrischen in gebildete gröſsere und kleinere Kugeln aus Kalkmasse in einem Teige von Kalk zusammengebacken. Er ist nur selten selbstständig über gröſsere Räume verbreitet, meistens als einzelne Lager von geringer Mächtigkeit in Kalksteinfelsen eingeschlossen.

Ueber diesen findet sich gelagert *bunter Mergel, Thon*, oft salzführend (Salzthon) mit *Fasergyps* und *Stinkkalk*. Hiervon ist verschieden der *Mergel*, ein mit Thon oder auch Kieselerde, zuweilen mit beider zugleich, gemengter Kalk, bei mehrerem Kieselgehalte auch *Sandmergel* genannt, meistens schieferig, von unrein weiſser und verschiedenen andern Farben. Der *Salzthon* ist ein kohlenstoffhaltiger, bituminöser Thon, welcher mit kleinen Salztheilen durch das Ganze seiner Masse gemengt ist, feinerdig im Bruche, von Farbe grau ins schwärzliche und selten Versteinerungen führend. *Fasergyps*, seltener *Anhydrit* kommen in ihm in Lagern von gröſserer oder geringerer Mächtigkeit vor. Er bezeichnet die Lagerungen des *Steinsalzes*, welches den Felsarten vom Zechstein an bis zum Muschelkalke angehört.

d. *Muschelkalk, Kalk von Göttingen, Flötzmuschelkalkstein, Muschelmarmor, Gryphitenkalk*, von der erstaunenden Menge der eingeschlossenen Petrefacten benannt, ist ein einfacher, bloſs mehr oder weniger Kiesel- und Thon-Erde auch etwas eisenoxydhaltiger Kalkstein. Er widersteht der Verwitterung sehr, ohnerachtet seiner Weichheit, ist stark zerklüftet und geschichtet, sehr weit verbreitet, bildet aber nur niedrige

Hügel und Berge meistens von rundlicher Form. An seinen beiden Grenzen findet sich *Thonmergel*.

Diese Felsart wechselt nach oben mit *weifsem* oder *Quader-Sandstein*. Letzterer ist von der Art seiner Zerklüftung und seiner Anwendung zum Bauen benannt, besteht aus feinen, sehr gleichförmigen, durch ein thonhaltiges, in geringer Menge vorhandenes Bindemittel verbunden. Die Farbe desselben ist graulich oder gelblich weifs, selten durch Eisen röthlich gefärbt, er führt nur sparsam fremdartige Einmengungen, und Versteinerungen nur da, wo er unmittelbar auf Kalkfelsen ruhet. Die Schichtungen desselben sind sehr kenntlich, die Zerklüftungen schneiden einander oft in rechten Winkeln, und durch beides entsteht die Bildung eigentlicher Quadern.

e. Wechselnde Lager von *Quadersandstein* und *Gryphitenkalk*. Hierin finden sich viele Reste von Pflanzen aus der Classe der Dikotyledonen vermengt mit denen aus der Classe der Monokotyledonen.

f. *Jurakalk*, dicht, von muschligem auch splittrigem Bruche und sehr lichter, graulich weifser, oder gelblicher Farbe. Es ist dieses eine sehr zusammengesetzte Formation, mit vielem sandhaltigen Mergel wechselnd und durch Beimengung von Thon selbst in Mergel übergehend. Seine durch dünne Thonlager getrennten Schichten liegen oft horizontal. Er findet sich in Lagern von geringer Mächtigkeit bis zu ganzen Bergen aufgehäuft, am häufigsten am Jura, auf der schwäbischen Alp u. s. w., auch schliefst er sehr ausgedehnte Höhlen ein. Der *Lithographische Stein*, von seiner Anwendung zum Steindrucke benannt, bildet nur eine Abart desselben[1].

---

1 Oft findet man von unten nach oben hin mergelhaltigen Kalk mit Gryphiten, Roggenstein, Madreporenlager (calcaire à polipiers), schiefrigen Kalk mit Fischen nnd Krustaceen und kugeliches Eisenoxydhydrat. Auch das *Knochentrümmergestein*, die *Knochenbrekzie*, ein Conglomerat aus Thierknochen und verschiedenen Geschieben von Felsarten, hauptsächlich Kalkstein, kann hier erwähnt werden. Ganze Thiergerippe finden sich nie in demselben, wohl aber alle Arten von Knochen, selbst menschliche in unordentlicher Lage und nicht eigentlich versteinert, sondern vielmehr calcinirt. Die Felsart ist vorzüglich als niedere Hügel und in Felsspalten an den Küsten des mittelländischen Meeres verbreitet. Seine Bildungszeit scheint mit dem letzten Aufenthalte des Meeres auf der Oberfläche unserer Erde zusammenzuhängen.

g. *Secundärer Braunkohlensandstein* (Molasse), ein feinkörniger nicht sehr fester Sandstein, mit wenigem thonigem, kalkigem, oder mergelichem Bindemittel und von weifslich-grauer Farbe. Versteinerungen von See- und Landthieren enthält derselbe bald sparsamer, bald in gröfserer Menge, ist deutlich geschichtet, und ziemlich weit verbreitet. *Ironsand*, ein durch Eisenoxydhydrat gefärbtes Sandgebilde, aus wechselnden Lagen von Sandstein und Sand bestehend, welches sich vorzüglich im südlichen Theile von England findet, wo er bis zu 500 F. ansteigende Hügelzüge bildet.

Greensand, grüner Sandstein, dem Ironsand nahe stehend, ein Sandstein von gröfserer oder geringerer Festigkeit, durch ein kalkiges Bindemittel zusammengehalten, erhält seine Farbe durch eingemengte Grünerde ähnliche Theile und Glimmerblättchen nebst Eisenoxydhydrat.

h. *Kreide* mit Chlorittheilchen gemengt (craie chloritée), *gemeine Kreide*, durch eine chloritähnliche, in kleinen grünen Puncten beigemischte Substanz gefärbt, und *weifse Kreide*, die bekannte Kalkerde mit einem unbedeutenden Zusatze von Talk, Thon, etwas Eisenoxyd und höchst feinem Quarzsande. Sie enthält häufig Versteinerungen, ist oft auf weite Strecken von bedeutenden Spalten durchzogen, auf Gebirgsarten von sehr verschiedenem Alter gelagert, und findet sich in Lagern von sehr geringer Mächtigkeit bis zu eigentlichen, obwohl nicht sehr hohen Bergen.

4. *Tertiäre Felsgebilde.* Nach d'Aubuisson gehören hierzu alle diejenigen, welche jünger sind als die Kreideformation, und nach v. Humboldt fangen sie mit den Resten zerstörter Kotyledonen an. Sie bestehen hauptsächlich aus Kalk-Thon- und Sandsteingebilden, sind sämmtlich aus zerstörten älteren Felsarten durch wässerigen Niederschlag entstanden, und enthalten eine unglaubliche Menge Reste einer früheren Thier- und Pflanzenwelt. Endlich kann als entscheidender Charakter noch angeführt werden, dafs sie nur den niedrigern Gebirgen angehören, und meistens horizontal geschichtet sind. Nach v. Humboldt gehören dazu

a. *Thon* und *tertiärer Braunkohlensandstein*, letzterer etwas jünger als der oben unter den secundären Felsarten genannte; *plastischer Thon*, eine erdige, mehr oder minder zerreibliche Masse, kenntlich durch seinen eigenthümlichen Thon-

geruch, welchen er im feuchten Zustande giebt, und das Ankleben an die nasse Zunge im trockenen. Von Farbe ist derselbe sehr verschieden, meistens weiſslich, ins Gelbliche und Bläuliche spielend, findet sich in Lagern von einem bis zu einigen hundert Fuſs Mächtigkeit, und enthält die vielfachsten Reste der Pflanzen- und Thierwelt. *Molasse* und *Nagelflue*, welche zuweilen wechseln, wenn die Kreide fehlt. Die Nagelflue hat ihren Namen von dem schweizerischen Worte *Flue*, eine steile Felswand, aus welcher Steine gleich groſsen Nagelköpfen hervorragen. Es ist dieses ein Trümmergestein aus kleineren und gröſseren Bruchstücken hauptsächlich von Kalkstein, selbst aus Rollstücken von Granit, Gneis, Porphyr und Diorit, auch aus Geschieben von Hornstein, Feuerstein, Thon- und Kieselschiefer, und Serpentin bestehend, welche durch einen kalkigsandsteinartigen Kitt zusammengehalten werden. In der Schweiz, wo diese Felsart häufig vorkommt, nimmt die Gröſse der Bruchstücke mit der Höhe der benachbarten Kalkfelsen ab. Eigenthümliche Versteinerungen enthält die Nagelflue nicht, wohl aber finden sich solche in den kalkigen Bruchstücken. Sie verwittert schwer; allein weil die Unterlagen derselben durch den Einfluſs der Atmosphärilien zerstört werden, so stürzen oft gröſsere oder kleinere Massen derselben mit groſsem Getöse herab. Auch die höchsten Lagerungen des *Jurakalkes* gehören hierher.

b. *Grobkalk*, *Pariser Kalkstein*, *Ceritenkalk*, *Kalkstein von Bolca*, *Thon von London*, *sandiger Kalkstein* von *Regnor*. Der Grobkalk wurde zuerst in der Gegend von Paris, nachher auch an andern Orten gefunden, eine Kalkmasse von gröberem oder feinerem Korne und graulich weiſse Farbe, mehr oder minder fest bis zum Zerreiblichen, mit vielfachen Einmengungen, insbesondere aber so viele Muschelschalen enthaltend, daſs die Kalkmasse zuweilen ganz verschwindet. Auch Abdrücke von Stengeln und Pflanzen, Fischen und deren Gerippen kommen in demselben vor. Er ist geschichtet mit Zwischenlagen von thonigem und kalkigem Mergel, findet sich häufig; bildet jedoch keine hohen Berge. Neben ihm stehen die *Braunkohlen*.

c. *Kieseliger Kalkstein* und *knochenhaltiger Gyps* mit *Mergel* wechselnd. In diesem Gebilde finden sich die vielen Knochen von Landthieren, insbesondere die Mammut- und anderen Gerippe.

d. *Sandstein* von *Fontainebleau*, ein mehr örtliches Gebilde.

e. *Kalktuff* und *Süſswasserkalk*, Gebilde des süſsen Wassers, weswegen sich in ihnen keine Reste von Seethieren finden. Der *Kalktuff* zeichnet sich aus durch sein loses, schwammiges Gefüge, der *dichte Süſswasserkalk* dagegen ist dicht, weiſs, zuweilen grau, schiefrig, mit vielen Resten der Thier- und Pflanzenwelt, und überdeckt Ebenen und niedere Hügel. Der *Kieselkalk*, wegen seines Antheils an der ihn durchdringenden quarzigen Materie so genannt, und der *Travertino*, eine dichte Kalkmasse mit zufälligen Beimengungen vulcanischer Stoffe, kann hier gleichfalls genannt werden. *Poröses Quarzgestein* (*Mühlstein*), ein höchst feinkörniger, stellenweise ins Dichte sich verlaufender Quarz, welcher bald mehr Chalcedon- bald mehr Feuersteinartig wird, von weiſser, ins Röthliche und Grauliche sich verlaufender Farbe, insbesondere aber ausgezeichnet durch seine zahllosen Höhlungen, und die in diesen befindlichen fadenartigen quarzigen Gebilde. Er ist theils frei von Versteinerungen, theils ganz erfüllt mit einschaligen Muscheln und Pflanzentheilen, und ist eins der jüngsten Süſswassergebilde, welches sich nicht häufig in einzelnen Stücken und Lagern von geringer Mächtigkeit findet.

f. *Aufgeschwemmtes Erdreich.* Dieses wird von den meisten Geognosten als eine eigene Classe von jüngerem Alter als die tertiären Felsarten betrachtet. Man rechnet dann darunter *Lehm*, ein mit mehr oder weniger Quarzsand und Kalkerde gemengter, durch Eisenocher gefärbter, zerreiblicher Thon, welcher sehr allgemein in Lagern von verschiedener Mächtigkeit verbreitet ist; *Loeſs*, ein lehmiges, gelblich-graues Gemenge aus Thon- Kalk- und Kieseltheilen mit versteinerten und calcinirten Conchilien und Knochen von Thieren der Vorwelt. *Walkererde*, welche weich und zerreiblich, weiſslichgrau ins Grünliche spielend ist, mit Wasser einen nicht formbaren Brei giebt, und aus zersetztem Diorit uud Dioritschiefer besteht. *Sand* endlich, das Product zerstörter quarziger Felsarten, ist so allgemein und an einigen Orten in so ungeheurer Menge vorhanden, daſs er keiner weiteren Beschreibung bedarf. Man könnte der Vollständigkeit wegen hier noch die *Dammerde*, als oberste Kruste des cultivirten Theiles des Erdballes anreihen, welche von einigen Zollen bis zu einigen Fuſsen Dicke aufgelagert ist.

5. Eine Hauptclasse von Fossilien machen die *vulcanischen Gebilde* aus. Sie verdanken im Allgemeinen den vulcanischen Kräften ihren Ursprung, und da die Thätigkeit der Vulcane sehr frühe begonnen zu haben scheint, und bis diesen Augenblick fortdauert, durch alle diese Zeiten hindurch aber ähnliche Producte erzeugt sind, so läſst sich auf keine Weise eine nach der Zeit geordnete Reihenfolge solcher Gebilde angeben, sondern sie werden am besten unter gewisse Hauptclassen geordnet. Einige von diesen beobachten wir zwar nicht mehr in ihrer Entstehung, und es ist daher lange streitig gewesen, ob sie auf die angegebene Weise entstanden wären, inzwischen sind überwiegende Gründe vorhanden, dieses anzunehmen. Indem aber weder die Art ihrer Entstehung noch die Untersuchung der vulcanischen Thätigkeiten überhaupt hier abgehandelt werden kann[1], so betrachten wir die durch dieselben gebildeten Felsarten, sey es daſs sie durch vollständige oder unvollständige Schmelzung gebildet sind, und mögen sie überhaupt im glühenden oder heiſsen, wässerig flüssigen oder breiartigen Zustande an den Ort ihrer gegenwärtigen Lagerung gekommen seyn, für jetzt nur so, wie sie in das Gebiet der Geognosie gehören. Es werden dahin gerechnet[2]

a. *Trachytische Formationen.* Der *Trachyt* (von τραχύς rauh) auch *Trapp-Porphyr, Domit,* genannt, besteht aus einer feinkörnigen Grundmasse mit einliegenden Krystallen glasigen Feldspaths. Nach L. v. Buch entsteht er durch die Einwirkung heiſser Dämpfe auf den Granit, welche den Quarz bis zur Unkenntlichkeit zersprengen, dem Feldspath seinen Perlmutterglanz und sein Blättergefüge rauben, die Krystalle in die Länge zerreiſsen und ihre Durchsichtigkeit erhöhen, Glimmer und Hornblende aber nicht angreifen. Die Farbe desselben ist schmutzig weiſs, ins Gelbliche, Röthliche, Bläuliche übergehend. Man unterscheidet verschiedenartige Trachyte je nach der Art des Gefüges und der beigemengten Bestandtheile. Unter andern giebt es *granitische Trachyte*, aus zahllosen Krystallen glasigen Feldspathes mit zwischenliegenden Krystallen

---

1 S. *Vulcane.*

2 Die Anordnung ist aus v. Humboldt geognostischer Versuch u. s. w. namentlich aus der S. 366. angehängten tabellarischen Uebersicht entnommen.

schwarzen Glimmers und sparsamen Theilen Hornblende; *porphyrartige Trachyte,* ein Teig aus Feldstein mit Krystallen von glasigem Feldspath und Augit; *halbverglaste Trachyte*, deren Teig halbverglaset, schwarz oder braun ist. Der Trachyt scheint unterhalb der granitischen Erdrinde emporgehoben zu seyn, wird zuweilen umlagert durch Basalt, und scheint dessen Grundlage zu bilden, wie er überhaupt in der Regel nur von vulcanischen Gebilden überdeckt ist. Er ist sehr allgemein verbreitet. Seine Berge sind bald in der Mitte der Ebenen einzeln emporsteigend, bald zu mehreren über einander gehäuft, zeichnen sich überhaupt durch ihre Höhe und kegelförmige Gestalt insbesondere im neuen Continente aus.

Der *Phonolith* (von φωνή die Stimme, der Ton und λίθος der Stein, wegen seines hellen, bis zum glockenartigen, Tones beim Anschlagen mit dem Hammer) ein lavaartiger Stein von grauer Farbe mit etwas Grün untermischt, besteht im Allgemeinen aus Feldstein mit eingewachsenen Feldspathkrystallen und manchen andern zufälligen Beimengungen. Die Felsart verwittert zum Theil schwer, zum Theil durch Zerklüftungen leicht, und giebt dann fruchtbares Erdreich. Sie zeigt sich in dicken, ziemlich hohen und nahe parallelen Säulen, welche in grofser Menge neben einander geordnet meistens in Platten zerspalten sind. Auch der Phonolith bildet kegelförmige, fast stets einzeln hervorragende, spitze und auch gewölbte Berge, deren entblöfste Oberflächen sich durch einen weifslichen Ueberzug auffallend von den benachbarten basaltischen unterscheiden. Die Felsart ist zwar nicht sehr allgemein, aber doch nicht eben selten in basaltischen Gegenden.

Perlstein, ein schmelzartiges, glasiges Gestein, aus ungleich grofsen, körnig abgesonderten, concentrischschaligen oder keilförmigen Stücken bestehend, mit Perlmutterglanz, unrein grau von Farbe, ins Gelbliche, Rothe, Braune, selten ins Schwärzliche spielend, ist nicht selten porös mit ins Längliche gezogenen, meistens parallelen, Blasenräumen. Man findet diese Felsart in manchen Gebirgen bedeutend verbreitet, indem sie niedrige, kegelförmige Hügel bildet, mitunter auch Bergmassen, welche bis 900 oder 1200 F. Höhe sich über die benachbarten Ebenen erheben und Flächen von 50 Quadratstunden überdecken.

Obsidian ist ein Begleiter des Perlsteins. Dieser sieht einer

gut geflossenen Schlacke mehr oder weniger ähnlich, und ist meisens glasig, schwarz und an den Kanten durchscheinend. Auch dieser ist zum Theil mit in die Länge gezogenenen Blasenräumen erfüllt, und ein Begleiter der Vulcane oder vulcanischer Erzeugnisse. Er findet sich als Lager im Trachyt, in Bimsstein und mit diesem durchwachsen, und im Basalte, endlich auch in grofsen Blöcken von Vulcanen ausgeworfen.

b. *Basaltische Formationen.* Hierhin gehört vornehmlich der *Basalt* selbst, ein inniges Gemenge aus Augit-Feldspath- oder Feldstein- und Magneteisen-Theilchen, sehr hart und von blaulich- und graulich-schwarzer Farbe. Der letztgenannte Bestandtheil erzeugt seine Einwirkung auf den Magnet. Nicht selten umschliefst die Masse zahlreiche ungleich grofse Blasenräume, und wird dadurch zum basaltischen Mandelsteine (basalte amygdaloïde), indem die Räume entweder leer oder mit verschiedenartigen Gesteinen erfüllt sind. Hauptsächlich findet sich im Basalte, als ihn charakteristisch bezeichnend, der *Olivin*, auch umschliefst er Bruchstücke verschiedener Felsarten, namentlich Stücke von Granit, Gneis, feldspathreichem Syenit, Grauwacke u. s. w. deren Oberfläche meistens mit einem glasigen Schmelze überzogen ist.

Der *Basalt* ist insbesondere ausgezeichnet durch die Säulen, welche er bildet. Indefs kommt nicht aller Basalt in solchen Säulen vor, sondern mitunter blofs unförmlich zerklüftet, und in abgerundeten, mit einer weifslichen Kruste überzogenen Stücken. Die schönsten Säulen giebt der feinkörnige, bläulichschwarze. Sie haben meistens fünf oder sechs, zuweilen sieben, drei und vier, selten zehn Seiten, einen Durchmesser von 6 Z. bis 6 F., sind zuweilen nach oben verjüngt und von einigen F. bis an 200 oder gar 300 F. Höhe und aus mehreren Gliedern zusammengesetzt, finden sich in allen möglichen Lagen, horizontal, schräg, unordentlich zusammengestürzt, sehr häufig aber lothrecht als unzählige parallele Pfeiler zusammengeordnet. Auf solche Weise bilden sie die riesenhaften Dämme, Wälle, Grotten und Höhlen, welche einen höchst imposanten Anblick gewähren, worunter namentlich die *Fingalshöhle* auf der Insel Staffa an der westlichen Küste von Schottland zu den schönsten und merkwürdigsten gehört[1]. Uebrigens finden sich Basalte in

Fig. 185.

---

1 Die Zeichnung ist aus dem Atlas zu Breislak's Institutions géo-

und über Ur- Uebergangs- und Flötz-Formationen gelagert, theils als Gänge, theils als zu Tage ausgehende Bergmassen. Als eigene Berge erheben sich die Basaltischen in Form von Kegeln und rundlichen gewölbten Kuppen von bedeutender Höhe.

Ueber den Ursprung des Basaltes hat man sich lange gestritten, indem die Neptunisten seine Entstehung als wässerigen Niederschlag zu vertheidigen bemühet waren. Anhänger dieser älteren Meinung waren hauptsächlich Werner[1], Richardson[2], d'Aubuisson[3], Brocchi[4] und andere. Als Hauptargumente führen sie an, daſs der Basalt sich durch die Einwirkung des Feuers beträchtlich verändert, folglich nicht im Feuer gewesen seyn kann, daſs er schichtenweise mit kohlensaurem Kalke durchzogan ist, Muscheln und Testaceen im unversehrten Zustande, ja sogar Wasser in sich enthält und selbst auf unveränderten Kohlen aufliegt. Indeſs haben neuere Erfahrungen dargethan, daſs der Kalk unter starkem Drucke selbst in der Glühhitze die Kohlensäure nicht verliert[5], die Muscheln aber konnten in den Basalt kommen, als er sich in einem weichen, breiartigen Zustande befand, oder in die heiſse Masse fest eingeschlossen blieben sie, wie der Kalk, unverändert. Für ein vulcanisches Product, welches theils als Lava geflossen, theils als breiartiger Teig von den Vulcanen ausgeworfen seyn kann, halten den Basalt de Lüc, Faujas de St. Fond[6], Dolomieu und Fortis[7], Hamilton[8], hauptsächlich L. v. Buch[9], S. Breislak[10], Keferstein[11], auch d'Aubuisson, welcher spä-

---

logiques genommen, wo sich die vorzüglichsten Basaltgruppen ausnehmend schön dargestellt finden.

1 Höpfner Mag. für die Naturkunde Helvetiens. IV. 239.

2 Bibl. Brit. XVIII. 313. XXXIX. 211. XLIV. u. XLV.

3 Mém. de l'Inst. an. XI. J. de Ph. LVIII.

4 Catalogue raisonné d'une Collect. des Roches. Milan 1817.

5 Vergl. unten.

6 Mineralogie der Vulcane, a. d. Fr. Leipz. 1786. Recherches sur les Volcans eteints de Vivarais et de Velay. Par. 1778. fol.

7 Briefe zweier ausländ. Mineralogen über den Basalt. Zürich 1792.

8 Neuere Beobachtungen über die Vulcane Italiens u. am Rhein u. s. w. Frankf. u. Leipz. 1784. 8. S. 18.

9 Bibl. Brit. XVI. 228. u. a. v. a. O.

10 Instit. géol. a. v. O.

11 Beiträge zur Kenntniſs und Geschichte des Basaltes. Halle 1819.

ter zu dieser Ansicht übergegangen ist, und sie mit den triftigsten Gründen unterstützt hat[1], A. v. HUMBOLDT[2], v. HOFF[3], NOEGGERATH[4], BOUÉ[5], BEUDANT[6], v. LEONHARD[7] und viele andere. Aufser manchen andern Beweisen hat mir allezeit ein sehr augenfälliger in dem Anblicke des Volcan de la Coupe[8] zu liegen geschienen, wo man noch deutlich sieht, wie die aus dem Krater geflossene Masse sich am Fufse des Berges in Basalt verwandelt hat. Ferner brachte STANLEY von seiner Reise nach Island eine Basaltsäule mit, welche an ihrem unteren Theile aus eben der grauen, porösen Lava des Hecla bestand, die noch jetzt von diesem Vulcane ausgeworfen zu werden pflegt. In gröfserer Höhe wird das Korn des Gesteines dichter, und geht zuletzt in eine regelmäfsig geformte Basaltsäule über[9]. Als unwiderlegbarer Beweis dienen aber die Basalte, welche noch in neueren Zeiten bei der Entstehung des *Jorullo* in America gebildet sind[10], auch lassen sich diejenigen Veränderungen zur Unterstützung dieser Hypothese anführen, welche der Basalt in den von ihm berührten und überdeckten Felsarten hervorgebracht hat, und wobei der Einflufs grofser Hitze nicht zu verkennen ist[11], so dafs man hiernach nicht umhin kann, die Ursache seiner Entstehung den vulcanischen Kräften beizulegen, wodurch die, unter dem Einflusse der Hitze, des Wassers und hauptsächlich der Dämpfe umgewandelten, Felsarten zum Theil Lavenartig, zum Theil Breiartig aus den Kratern geflossen sind, und beim Uebergange in den festen Zustand ihre gegenwärtige Form angenommen haben.

Dafs auch der *Phonolith* den basaltischen Formationen an

---

1 Géognos. II. 601.

2 Geognost. Versuch u. s. w. S. 349. u. a. v. a. O.

3 Berlin. Magaz. Naturf. Freunde. V. 347. VII. 309.

4 Gebirge in Rheinland-Westphalen. I. 106.

5 Essay géognost. sur l'Écosse. p. 219. Mém. géol. sur l'Allemagne. p. 133.

6 Voyage minéralogique en Hongrie. a. v. O.

7 Charakteristik d. Felsarten. II. 540.

8 Faujas de St. Fond. a. a. O. p. 298. Eine Zeichnung des Berges findet man gleichfalls im Atlas zu Breislak's Inst. geol.

9 Zimmermann Taschenb. d. Reisen für 1804.

10 v. Humboldt a. a. O. S. 354.

11 v. Leonhard Charakteristik der Felsarten. II. 544.

gehöre, ist oben schon beiläufig erwähnt. *Verschlackter Basalt* (*Trachytischer Mühlstein*, *Rheinischer Mühlstein*), ein rauhes, blasiges, oft völlig schlackenartiges Gestein, seinen Bestandtheilen nach dem Basalte zugehörig, findet sich auf und neben dem Basalte, auf Thonschiefer, zuweilen auch unter dem Basalte. Die Felsart ist licht- und dunkel-grau, zuweilen unrein roth, braun und schwarz von Farbe, weit leichter zersetzbar als der Basalt, schliefst verschiedene andere Fossilien in sich, macht oft die obere Rinde der Basaltkuppen aus, bildet aber auch eigene kegelförmige Berge, und findet sich aufserdem in mächtigen Lagern.

Unmittelbar an den Basalt grenzt der *Dolerit*, und ist eigentlich nur als eine Abart desselben zu betrachten. Er besteht aus Feldstein oder Feldspath, zuweilen aus beiden, desgleichen aus Augit und Magneteisen, und ist von krystallinischem oder doch wenigstens körnigem Gefüge, welches mitunter so fein und dicht wird, dafs die Felsart völlig basaltisch scheint. Je nach dem Quantitativen der Gemengtheile ist der Dolerit verschieden, und wird durch stark vorwaltenden Augit mitunter ganz augitisch. Blasenräume sind in ihm nicht selten, und oft in solcher Menge vorhanden, dafs er zum eigentlichen Mandelsteine wird (*Dolerit-Mandelstein*, manche *Basaltische Mandelsteine*), und es sind dann diese Blasenräume entweder leer oder mit verschiedenen Steinarten erfüllt. Der Dolerit führt mehrere beigemengte Fossilien, und unter diesen auch *Olivin*, geht in Basalt und Wacke über, so dafs die Grenze zwischen ihm und dem ersteren nicht scharf bezeichnet werden kann, verwittert leicht, ist zuweilen geschichtet, zeigt aber auch regelmäfsig säulenförmige und kugelige Absonderungen und findet sich auf Basalt und Wacke, desgleichen auf Glimmerschiefer und andern älteren Gebirgsarten, zuweilen auch auf rothem Sandsteine gelagert. Der Ursprung des Gesteines ist wohl ohne Zweifel dem des Basaltes verwandt, auch wird er oft für Basalt angesehen. Ferner gehört zu ihm als Abart muthmafslich die *Lava vom Capo di Bove*, ein dunkelgrau-schwärzliches feinkörniges Gestein, aus Leuzit, Augit, Magneteisen, Nepholin und Melilith in verschieden wechselndem quantitativem Verhältnisse gemengt.

Mandelstein, *mandelsteinartiger Trapp*, (und manche *Wacken*) ein scheinbar gleichartiges, häufig zelliges, blasiges

zählt der *eigentliche vulcanische Tuff*, auch *Wacke vom Monte verde*, *Pouzzolan-Gestein* genannt, eine mehr und weniger scheinbar gleichartige, lockere, weiche, fast zerreibliche Masse, gelblich oder schwärzlich braun, aschgrau und röthlich, mit mehr oder weniger fremdartigen Einmengungen und selten vorkommenden Pflanzen-Abdrücken. Das Gebilde ist ursprünglich vulcanisch, aber durch Wasser fortgeschwemmt, und hieraus abgesetzt, überdeckt daher auch die Felsarten der tertiären Formation, und findet sich hauptsächlich nur an der Südwestseite den Appeninen, namentlich in der Gegend von Rom.

Trafs oder *Terrafs*, eine erdige, unrein gelbe, ins Graue oder Braune übergehende Masse, worin sich Bimssteinstücke, Fragmente von Thonschiefer, Trachyt- und Basalt-Brocken u. s. w. finden, ist gleichfalls ein durch Wasser aufgeschwemmtes vulcanisches Conglomerat, welches in Lagern von 10 bis 20 F. Mächtigkeit die Thäler ausfüllt. Der *Posiliptuf*, eine blafsrothgelbe, oder gelblich weifse, erdige, spröde und leichte Masse mit einliegenden feinen Stücken Bimsstein und Lava, verdankt seinen Ursprung den Vulcanen mit nachfolgender Einwirkung des Wassers, und findet sich hauptsächlich an der Meeresküste oberhalb Neapel als steile, aus dem Meere hervorragende Felsen, desgleichen an den Ufern der Insel Teneriffa u. s. w. Ihm ist ähnlich der *Peperino*, eine wackenartige, meistens aschgraue, Masse von feinem Korne, mit einliegenden Bruchstücken von Augit, Glimmer, Magneteisen, Dolomit, Basalt, Lava u. s. w. und wird für vulcanische Asche gehalten, welche über weite Strecken durch wiederholte Auswürfe verbreitet und allmälig erhärtet ist. Er findet sich hauptsächlich in und unterhalb Rom. *Rapilli*, kleine Trümmer von Laven, von der Gröfse einer Haselnufs bis zu der eines Hühnereies, *vulcanischer Sand*, bis zur sandigen Form verkleinerte Lava und *vulcanische Asche*, welche oft bis zur mehlartigen Feinheit in ungeheurer Menge von den Vulcanen ausgeworfen wird, lassen sich hier anreihen.

6. In den erhabenen Theilen der Erdkruste, den Gebirgen, findet man ferner die *Gänge*. Man bezeichnet hiermit diejenigen Räume, welche ganz oder theilweise mit Mineralsubstanzen erfüllt sind, und die Gebirgsart selbst unter verschiedenen Winkeln durchschneiden, indem sie bald in gerader, bald in gekrümmter Richtung fortlaufen. Die den Raum erfüllenden, von

der Gebirgsart mehr oder weniger verschiedenen Fossilien nennt man gleichfalls Gang, genauer *Gangart*, *Gangmasse*, die Neigung der Gänge gegen den Meridian sein *Streichen*, gegen die horizontale Ebene sein *Fallen*, die Gebirgsart, worauf sie ruhen, das *Liegende*, die über ihnen befindliche das *Hangende*, ihre oft sehr bedeutende, bis zu 50000 F. fortlaufende Ausdehnung in der Richtung ihres Streichens die *Längenerstreckung*, die senkrechte Entfernung zwischen dem Hangenden und Liegenden oder dem sie einschliefsenden Gesteine aber ihre *Mächtigkeit*, welche von weniger als einem Zolle bis mehr als 140 F. beträgt. Die Gangart besteht bald aus einem bald aus mehreren verschiedenen, in mannigfaltig wechselnden Verbindungen vereinigten Mineralsubstanzen, welche häufig zu den vollkommensten Krystallen ausgebildet sind. Führt der Gang ganz oder zum Theil Erze, so heifst er *edel*, im entgegengesetzten Falle *taub*. Höhlungen innerhalb der Gangmasse (zuweilen auch auf ähnliche Weise in den Felsarten vorhanden), welche leer oder häufiger zum Theil, auch wohl ganz, mit Mineralien angefüllt oder nur auf ihren inneren Wandungen mit Krystallen überkleidet sind, nennt man *Drusenräume*. Endlich sind die Gangmassen von der begrenzenden Felsart, dem *Nebengestein*, entweder scharf getrennt, wobei die berührende Fläche der Gangmasse *Saalband* heifst, oder sie sind mit derselben verwachsen, wodurch letztere verschiedene Veränderungen erleidet, so wie auch die Gangmassen selbst auf mannigfaltige Weise in einzelne Lagen geschieden, theilweise zerklüftet, abgesondert und umgewandelt sind, die Gänge aber einander durchkreuzen, verrücken oder auch durch die Gebirgsarten verdrückt werden [1].

7. *Lager* nennt man diejenigen Mineralmassen, welche, entweder an sich oder rücksichtlich ihrer Structurverhältnisse von den einschliefsenden Felsarten verschieden, zwischen letzteren liegend angetroffen werden. In geschichteten Gebirgen bilden sie der Hauptgebirgsart ähnliche Schichtungen, in ungeschichteten aber für sich bestehende plattenförmige Abtheilungen. Ein Lager im Flötzgebirge heifst auch wohl schlechtweg *Flötz*, im aufgeschwemmten Lande aber *Bank*. Das Streichen und Fallen der Lager stimmt in der Regel mit dem der einschliefsenden

---

1 v. Leonhard Charakteristik der Felsarten. I. 26. Ueber den Ursprung der Gänge s. *Geologie*.

Gebirgsarten überein, und mehrere Lager des nämlichen Gebirges befolgen hierin meistens den nämlichen Parallellismus. Mit der *Sohle* ruht das Lager auf dem tieferen Gesteine, sein *Dach* begrenzt die Ausdehnung nach oben, die lothrechte Entfernung zwischen beiden, heifst die *Mächtigkeit* derselben, und wechselt von einigen Zollen bis zu vielen Lachtern[1]; ist dieselbe verhältnifsmäfsig grofs gegen die Längenerstreckung, so nennt man solche auch *Stöcke*.

Im Allgemeinen herrscht bei Lagern mehr Einfachheit und Gleichartigkeit, als bei den Gängen, sie führen weniger Krystalle, ihre bildenden Massen sind entweder in ziemlich gleichem Verhältnisse gemengt oder es ist *eine* einzelne Gebirgsart vorherrschend, auch führen sie Erze und heifsen dann *Erzlager*, sonst aber *Gesteinlager*, enthalten selten Drusenräume, und werden von Klüften, Adern und selbst von Gängen durchsetzt. Auf das begrenzende Gebirgsgestein üben die Lagermassen einen verschiedenen Einflufs aus, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs die Entstehung beider als gleichzeitig erfolgt anzusehen sey[2].

8. Die Erdkruste ist nicht überall dicht, sondern schliefst eine Menge bis jetzt bekannte und wahrscheinlich noch viele unbekannte Räume, die sogenannten *Höhlen* ein, deren Betrachtung aber für sich angestellt zu werden verdient[3].

9. Unter diejenigen Substanzen, welche in ausnehmend grofser Menge auf und in der Erdrinde verbreitet sind[4], gehört vorzüglich das *Kochsalz* (salzsaures Natron), welches auf-

---

1 Die Eisenlager sind unter den metallischen insbesondere auf der nördlichen Erdhälfte die mächtigsten. Nach L. v. Buch Reis. II. 241. befindet sich zu Junos-Suvando in Lappmarken der nördlichste Hohofen auf der Erde unter 67° 30′ N. B., und einige Meilen tiefer bei Torneoforfs ist abermals einer. Dort bilden die Eisenerze ganze Berge, die sich über die Oberfläche erheben. Die Lager bei Luossavara und Svappavara sind 34 und 38 Lachter mächtig, und im Eisenberge bei Kirunavara westlich von Jukasjerwi ist die Mächtigkeit des reinen Erzes schon 800 F. gesehen.

2 S. v. Leonhard a. a. O.

3 S. *Höhlen*.

4 An manchen Orten, wo das Salz bis jetzt noch rar ist, z. B. am Niger und im Innern von Guiana (nach v. Humboldt Reisen IV. 248.) liegt dasselbe vermuthlich nur tiefer, und ist daher noch nicht aufgefunden.

gelöset als Salzwasser oder fest, mehr oder weniger mit verschiedenen Substanzen verunreinigt, in einzelnen gröfseren oder geringeren Quantitäten, sehr allgemein vorkommt. Es findet sich vorzüglich im Wasser des Meeres und der salzigen Seen[1], und wenn das Salzwasser derselben über die Ufer tritt, sich dann in Niederungen sammelt, und durch den Einfluſs der Sonnenstrahlen verdunstet wird, so schieſst das Salz in Krystallen an, wie namentlich bei einem Teiche in der Nähe der Capstadt der Fall ist, aus welchem eine Menge Salz jährlich gewonnen wird[2]. Auch durch die sandigen Ufer der Salzseen, z. B. des todten Meeres und der sibirischen Seen dringt eine Menge Salzwasser, verdunstet, und macht die Umgegend durch den Salzgehalt unfruchtbar, oder liefert zugleich eine Menge Salz zum ökonomischen Gebrauche[3]. Unter die Gegenden, welche oft auf weite Strecken durch hervordringendes Salzwasser unfruchtbar werden, gehören vorzüglich die Nordküsten Africa's und Aegyptens, desgleichen weite Strecken in Persien und Armenien, in Cabulistan, insbesondere die Niederungen um das caspische Meer und den See Aral, z. B. ein Theil der kirgisischen Steppe u. a. m.

Hauptsächliche Aufmerksamkeit verdienen aber die gröfseren und geringeren, zum Theil ganz ungeheuern *Lager von Steinsalz*. Dieses kommt zum Theil in grofsen Blöcken vor, und läſst sich aus denselben in grofse Würfel spalten. Es ist seltener ganz rein, wasserhell und fast durchsichtig, welches dann zerstofsen ein Salz wie feines Mehl und schneeweiſs liefert, öfterer ist es grau bis zum schwärzlichen, röthlich, gelblich, bläulich auch grünlich. Das ganz wasserhelle liegt meistens als Kugeln, seltener als Würfel in dem gefärbten, meistens in gröfserer Tiefe. Beigemengt finden sich demselben nicht häufig vegetabilische Substanzen meistens im verkohlten Zustande. Das Steinsalz bildet Schichten und Bänke, bei denen sich aber kein regelmäſsiges Streichen und Fallen zeigt, indem sie bald mächtiger, bald geringer werden, sich unordentlich biegen und krümmen. Oft sind die Flötze von gröfserer Mächtigkeit, öfterer findet man bloſse Stöcke, welche mit Salzthon

1 S. *Meer; Seen.*

2 Lichtenstein Reisen. I. 556.

3 Ueber die Salzquellen. S. *Quellen.*

und Salzgyps wechseln, beide fast stete Begleiter des Steinsalzes. Die Hauptniederlage desselben scheint im Alpenkalke, theils zwischen diesem und dem bunten Sandsteine zu seyn, indem letzterer dann unten sehr thonig und mergelich wird. Auſserdem findet man dasselbe in partiellen Formationen gelagert, welche theils der Uebergangs- theils der jüngern Flötzzeit zugehören, und es ist dann mit Gyps, Stinkkalk, Salzthon u. a., oder auch mit Gerölle überdeckt, oder geht in seltenen Fällen selbst zu Tage aus[1]. Als solche Gegenden, in denen es vorzugsweise in groſsen Lagern vorkommt, können genannt werden die Stadt *Cardona* in Catalonien, 16 Lieues von Barcellona, woselbst sich ein zu Tage ausgehender Salzberg von etwa 300 F. Höhe befindet. Die Stadt selbst liegt 411 Meters über dem Spiegel des mittelländischen Meeres, und 138 Met. über dem Spiegel des kleinen Flusses Cardonnero, in welchen das vom Salzberge abflieſsende Regenwasser fällt, ohne daſs sein Wasser bedeutend hierdurch gesalzen würde. Die Auflösung des festen Steinsalzes durch das Regenwasser ist nämlich unbeträchtlich, weil es schnell von der Oberfläche abflieſst, weswegen auch das Volk den Berg für unzerstörbar hält, jedoch nimmt er nach Cordier jährlich etwa 4,7 F. an Höhe ab[2]. Die reichen und ausgebreiteten Salzquellen *Lothringen's* verdanken ihren Ursprung einem unermeſslichen Salzlager[3], auch ist dasjenige sehr mächtig, welches neuerdings in und um *Wimpfen* am Neckar durch Bohrversuche aufgefunden wurde[4], ohne daſs jedoch bei beiden das Steinsalz selbst aus der Tiefe gefördert wird. Ausnehmend reich sind ferner die Salzgruben im *Salzburgischen*, am gröſsten, bekanntesten und merkwürdigsten aber sind die bei *Wiliczka* und *Bochnia*, aus denen ein groſser Theil von Polen und Schlesien mit seinem Salzbedarf versehen wird. Es wird von diesen schon seit dem Jahre 1237 geredet, und durch das beständige Ausbringen des Salzes sind daselbst künstliche Höhlen gebildet, welche zu den gröſsten in der Welt gehören. Die im Salze ausgehauenen, gröſsten-

---

1 v. Leonhard Charakteristik der Felsarten. II. 290.

2 Cordier in J. de Ph. LXXXII. 344. Vergl. Bakewell Einleitung in die Geologie, übers. v. Müller. S. 91.

3 J. de Ph. LXXXIX. 395. u. 473. G. LXIV. 145.

4 Vergl. G. LXIV. 219.

theils durch stehen gebliebene Säulen von Salz gestützten Gänge laufen auf 2000 Lachter von N. nach S. und 400 von O. nach W., sind so breit, daſs zwei Wagen neben einander fahren können, und an 40 F. hoch. Man findet mehrere Säle darin, und sollen diese sogar über einander sich befinden, indem das Ganze aus drei Stockwerken besteht, zu deren oberen man durch 30 Schachte und eine Windeltreppe, zu den beiden unteren aber durch Treppen, im Salze selbst gehauen, gelangt. Man findet dort mehrere Capellen mit Altären, Heiligenbildern, gewundenen Säulen, Kanzeln, Sitzen, Beichtstühlen, Leuchtern u. s. w., alles aus Steinsalz gehauen. Frisch ausgehauene Räume geben durch Lichtbrechung und Spiegelung ein Ansehen von Edelsteinen, bald aber werden die Gegenstände durch Lampenruſs von den vielen brennenden Fackeln überzogen. Dort sind unterirdische Magazine von Salz, von Heu und Stroh für Pferde, nebst Stallungen für 20 bis 30 derselben, indem die für die Arbeiten herabgelassenen nicht wieder heraufkommen, und sich wohl befinden, auſser daſs sie von dem blitzenden Lichte leicht erblinden. Die Arbeiter werden dreimal binnen 24 Stunden abgelöset, und arbeiten also jedesmal 8 Stunden; ihre Zahl wird im Ganzen auf 800, die der Officianten auf 60 angegeben. Es giebt verhältniſsmäſsig wenig Wasser dort, und man kann überall trocknen Fuſses gehen, dennoch giebt es aber einige Seen darin, und sogar eine Quelle süſsen Wassers. Gleich mächtig ist wohl das Salzflötz in *Siebenbürgen*, dessen Länge man zu 170 deut. Meil. bei einer Breite von 15 bis 20 M. berechnet. Die Grube zu *Kotosch* gab im Jahre 1772 jährlich 144000 Stein zu 80 bis 90 ℔., die zu *Torda* 145860 Stein. Man rechnet, daſs jene Gegend jährlich fast eine Million Ct. liefert, und eine halbe Million, welche in Stücken über die Halden geworfen werden[1].

In *Africa* ist das Salz an einigen Orten rar, an der Nordküste und in der Wüste dagegen werden die Brunnen leicht salzig und dieses deutet allerdings auf unbekannte Salzlager. In groſser Menge und einen wichtigen Handelsartikel bildend findet sich dasselbe aber unweit *Baylur* in *Habesch*[2], desgleichen an

---

1 Guettard in Mém. de l'Ac. 1762. 493. Lichtenb. Mag. I. 30. Journ. des Mines XXIII. 280. Vergl. I. Kant. physische Geographie. Hamb. 1817. II. 2. S. 129.

2 Bruce Travels. III. 111.

der Grenze der Sahara nach Tombuktu hin, u. a. a. O. *Asien* ist an einigen Orten vorzüglich reich an unerschöpflichen Salzlagern. Dahin gehören namentlich die Umgegenden des todten Meeres, wo viele felsenartige Salzmassen über die Erde hetvorragen, welche zu der Sage von der Verwandlung von Lot's Frau in eine Salzsäule Veranlassung gegeben haben, und wird diese vermeintliche Säule daher von den Reisenden an verschiedene Orte gesetzt, je nachdem sich hier und dort solche Salzblöcke finden. Die Araber haben seit undenklichen Zeiten das Salz von dort weggeführt, ohne dafs eine Abnahme wahrgenommen wird. Am merkwürdigsten ist aber ein Salzberg, gröfser als der spanische, nahe bei der Stadt *Callabagh* am Indus. Dieser Flufs drängt sich dort durch Felsen, und gegenüber befindet sich der genannte Berg von Salz, an dessen Fufse ein Weg durch dieses Mineral gehauen ist, welcher sich an einigen Stellen gegen 100 F. über den Spiegel des Flusses erhebt. Das Salz ist hart, hell und fast rein, und würde wie Krystall aussehen, wenn es nicht an einigen Stellen roth gestreift wäre. Aus dem Salzfelsen brechen einige Quellen hervor, und überziehen den Boden mit einer blendend weifsen Kruste[1]. In *Peru* findet sich das Salz in einer Höhe von 9000 F. über der Meeresfläche, auch in Chili ist es in Menge vorhanden[2], und die Wüste zwischen Ametope und Coquimbo enthält nach Huaura hin eine reiche Steinsalzgrube. Ueberhaupt ist in Südamerica der östliche Theil arm, der westliche reich an Salz[3].

Die vielen sonstigen gewöhnlichen Salzlager und die zahlreichen Salzquellen müssen hier unerwähnt bleiben.

10. Viele Aufmerksamkeit haben von jeher die *fossilen Kohlen* erregt, welche man sehr allgemein und von verschiedenen Arten als Bestandtheile der Erdrinde antrifft. Man unterscheidet hauptsächlich

a. *Schwarzkohlen*, zu denen die Blätterkohle, Stangenkohle, Kannelkohle, Rufskohle, ein Theil der Pechkohle, Grobkohle und mineralische Holzkohle gehört.

---

1 Elphinstone Reise nach Cabul. d. Ueb. Th. I. S. 60.

2 Kotzebue Reis. III. 29.

3 Voyages dans l'Amérique méridionale par Don Felix de Azara. etc. Par. 1809. IV Tom. 8. Eschwege bei G. LIX. 126.

b. *Braunkohlen*, wozu man rechnet die Pechkohle, gemeine Braunkohle, Bastkohle, Moorkohle, Erdkohle und bitumineuses Holz. Beide genannte Arten gehen in einander über, und sind im Einzelnen oft schwer zu unterscheiden, hängen aufserdem mit einigen andern, nachher zu erwähnenden verbrennlichen Mineralien nahe zusammen. Einige Mineralogen rechnen zu den Steinkohlen (houille) blofs diejenigen, welche sich im Feuer aufblähen, zusammenbacken, mit einer rufsigen Flamme brennen, bei einem starken Luftzuge eine starke Hitze geben, entzündet aber im Strome des Löthrohres wieder verlöschen; unter Braunkohlen (lignites) aber solche, welche im Feuer reifsen, sich an Umfang vermindern, eine helle Flamme aber weniger Hitze geben, und entzündet im Luftstrome des Blaserohres weiter brennen[1]. Man kann auch als chemische Bestimmung angeben, dafs die Combustibilien dieser Art aus Bitumen, Kohle und erdigen Theilen bestehen. Ist die Kohle überwiegend, nur wenig Bitumen vorhanden und fehlen die erdigen Theile, so giebt dieses die Kohlenblende oder den *Anthracit;* wenn dagegen die Menge der erdigen Theile gröfser ist, die der Kohle aber geringer, so ist es *bituminöser Schiefer;* reines Bitumen dagegen, mit wenig Kohle und erdigen Theilen liefert *Asphalt*. *Schwarzkohle* sowohl als auch *Braunkohle* bestehen aus Kohle und Bitumen mit unbedeutendem und aufserwesentlichem Antheile erdiger oder auch metallischer Stoffe, ein wesentlicher Unterschied des Qualitativen und Quantitativen ihrer Bestandtheile ist aber noch nicht nachgewiesen, sobald die letztere sich von bituminösem Holze völlig entfernt, also keine auffallend sichtbare Spuren ihres organischen Ursprunges mehr an sich trägt. Uebrigens finden sich die verschiedenen Arten beider an den nämlichen Orten, ja sogar an einzelnen Stücken zeigt sich ein Uebergang beider in einander. So beobachtete Hatchet unter den Braunkohlen von Bowey Theile kaum veränderter Pflanzen bis zur völligen Steinkohle[2], und Playfair besafs ein Exemplar, woran die Holzstructur an einer Stelle noch völlig sichtbar, an einer andern aber die voll-

1 Nach L. Gmelin's mündlicher Mittheilung.

2 Vermuthlich würde das oben angegebene Kennzeichen den Unterschied wahrnehmbar gemacht, und gezeigt haben, dafs alles blofs zur Classe der Braunkohlen gehörte.

endete glänzende und im Bruche fast glasige Kohle erschien. Es war von der Insel Sky, und lag unter Basalt[1].

Die Steinkohlen kommen der Regel nach in horizontalen Schichten von wenigen Zollen bis zu 6 Lachtern Mächtigkeit vor, deren an einigen Orten mehrere, sogar bis 50 oder 60 über einander liegen. Sie erscheinen in manchen Gesteinen als fremdartige Lager, und haben als eigenthümliches Steinkohlengebilde Schieferthon, Brandschiefer, Kohlensandstein, Thoneisenstein und Trümmergestein zu Begleitern. Das Steinkohlengebilde ruht theils auf Urgebirgen, theils auf Uebergangsfelsarten, und ist von Muschelkalk und Felsarten neuerer Formation bedeckt. Bei Sta-Fe-de-Bogota liegen sie in einem Thale 2200 Toisen über der Meeresfläche, bei Whitehaven dagegen gehen sie meilenweit unter das Meer, vielleicht bis 1000 F. unter dasselbe, wenn gleich Franklin's Angabe übertrieben seyn mag, dafs er das Meer 4000 F. über sich gehabt habe[2]. Ueberbleibsel und Abdrücke von Pflanzen und Thieren enthalten sie selbst nicht, wohl aber die sie einschliefsenden Gesteine. In den Braunkohlen dagegen findet man zahlreiche Reste von Pflanzen, welche in einigen sogar ihre ganze Structur beibehalten haben, ganze Baumstämme von 9 F. Länge, aus der Thierwelt aber kommen weit häufiger Land- und Süfswasserbewohner, als solche vor, welche dem Meere angehören. Auch die Braunkohlen finden sich in Schichten von einigen Zollen bis zu 6 oder 8 Fufs und darüber auf jüngeren Felsarten als die Schwarzkohlen, und unbedeckt oder durch die jüngsten Gebilde überlagert. Beide, sowohl Schwarzkohlen als auch Braunkohlen haben sehr oft den Basalt zum Begleiter, z. B. beim Riesendamme in Irland, in der Auvergne, am Meisner im Hessischen, auf der Bolca bei Verona u. s. w.

Zu den Steinkohlen mufs auch der sogenannte *Surturbrand* gerechnet werden, welcher der Insel *Island* eigenthümlich ist. Am häufigsten und zuweilen ausschliefsend wird derselbe nach Garlieb da gefunden, wo neptunische Bildung vorherrschend ist, und zwar der Beschreibung nach in drei verschiedenen Lagern, deren erstes 600 F. über dem Meere erhaben ist, das zweite 150 F., das dritte aber sich fast im Spiegel desselben

1 Journ. des Mines XVIII. 195. Breislak Inst. Géol. II. 239.
2 Bibliothek d. Reisen. XLIII. 183.

befindet. Zwischen ihnen sind Lager von verschiedenen, mitunter vulcanisch veränderten Steinen, doch sollen auch diese abgerundet und sichtbar durch Anschwemmung herbeigeführt seyn. HENDERSON[1] fand vier Lagen über einander durch Schichten von weichem Sandstein und Thon getrennt, und 1,5 bis 3 F. mächtig. Die beiden unteren sind rein von fremden Körpern, zeigen Holzknoten, Wurzeln und Kringe der verschütteten Bäume, welche letztere dicht neben einander liegen und von der aufruhenden Last platt gedrückt scheinen. Das dritte Lager ist von Eisen durchdrungen, sehr hart und schwer, aber weniger schwarz; das vierte ist eine mit vieler Erde gemischte Kohle. Die mittleren Lager enthalten *Gagat*, sind überhaupt am härtesten und einer guten Politur fähig. Zwischen der zweiten und dritten Lage ist eine etwa 4 Z. dicke blätterige Lage, welche sich oft zu Papieresdicke spalten läfst, und dann zeigen die Stücke auf beiden Seiten die schönsten Abdrücke von Blättern mit allen ihren Fasern und Rippen, aus denen man, so wie aus der Beschaffenheit der Stämme auf die Art des Holzes schliefst, woraus der Surturbrand gebildet wurde, indem man darin die an den nordamericanischen Küsten einheimische populus tremula und takkamahaka zu erkennen glaubt. Der Ursprung dieser Steinkohle ist daher rücksichtlich der Substanz nicht zweifelhaft, jedoch ist nicht entschieden, ob sie aus Treibholz oder aus einheimischen Waldungen gebildet ist. Für die letztere Hypothese spricht der Umstand, dafs der Surturbrand nach HENDERSON sich allezeit an der andern Seite eines Hügels in gleicher Höhe findet, wenn er an der einen gelagert ist[2].

Der Ursprung der Steinkohlen ist im Allgemeinen nicht zweifelhaft, indem man aus unverkennbaren Zeichen wahrnimmt, dafs sie aus verschütteten Vegetabilien gebildet sind. Braunkohlen entstanden aufserdem aus Baumstämmen und Landpflanzen; ob sich dieses aber auch von den Schwarzkohlen behaupten läfst, ist nicht ausgemacht, indem einige Geognosten sie vielmehr aus Seepflanzen entstehen lassen, welcher Hypothese indefs das Argument der Mächtigkeit der Kohlenlager entgegensteht, indem man nicht wohl begreift, auf welche Weise See-

---

1 Island. II. 110.

2 Vergl. Vargas Bedemar om vulcanske Producter fra Island. Kopenh. 1817.

pflanzen an einem Orte in solcher Menge aufgehäuft wurden. Holz dagegen lieferten die Urwälder in unermeſslicher Quantität, und noch jetzt wird es in solcher Menge als Treibholz auf der See getroffen und später im aufgeschwemmten Sande derselben begraben, daſs es den Lauf der Schiffe, insbesondere an den Mündungen der groſsen americanischen Ströme, hemmt. Durch welche Bedingungen dasselbe aber in Steinkohlen verwandelt wurde, ob dabei Hitze mitwirkte, und die gleichzeitig begrabenen thierischen Stoffe einen Einfluſs hatten, ist noch nicht ausgemacht.

12. Man findet ferner in gröſseren und geringeren Tiefen verschiedene Fossilien, welche nach überwiegenden Gründen aus zerstörten und umgewandelten organischen Stoffen entstanden sind, oder mindestens hauptsächlich aus Kohlenstoff bestehen, deren nähere Beschreibung aber in die Oryktognosie gehört[1]. Dahin sind zu rechnen a. der *Bernstein*, eine wahrscheinlich aus Baumharz entstandene Substanz, durchscheinend bis durchsichtig, welche häufig Insekten, selten kleine Fische einschlieſst, und am häufigsten an den östlichen Küsten der Ostsee, als einzelne kleinere Bruchstücke aber vielfach in allen Welttheilen gefunden wird. b. *Retinit* oder *Retinasphalt*, eine meistens braune, fettglänzende Masse. c. *Hatchetin*, eine weiche, talgartige, dem Bergöl verwandte Substanz. d. *Erdöl*, welches von der hellsten Naphtha bis zum dichflüssigsten Oele einen Uebergang zum Asphalte bildet, und in perennirenden Quellen meistens zugleich mit Wasser emporquillt[2]. e. *Asphalt* oder *Erdpech*, in gröſster Menge im todten Meere und sonst vielfach vorkommend, nebst dem ihm verwandten, in Khorassan sparsam vorhandenen, wohlriechenden *Bergbalsam* und dem *Munjak*, welches vom See in der Champechebay in Mexico ausgeworfen wird. f. *Elaterit* oder *fossiles Cautchouc* (Dapêche).

13. Die vielen Versteinerungen, überhaupt die zahlreichen und wunderbaren Ueberreste früher existirender organischer Geschöpfe, welche die Erdrinde einschlieſst, haben seit den ältesten Zeiten, insbesondere aber seit dem Anfange des vorigen

---

1 v. Leonhard Handbuch der Oryktognosie. 2te Aufl. Heidelb. 1826. S. 791.

2 Vergl. *Quellen*.

Jahrhunderts die Aufmerksamkeit der Menschen erregt, und es mufs auch den Physiker die Frage interessiren, durch welche Naturkräfte und unter welchen physischen Veränderungen der Erde sie ihre jetzige Beschaffenheit erhalten und an den gegenwärtigen Ort ihrer Lagerung gekommen sind. Inzwischen würde eine auch nur kurze Behandlung dieses Gegenstandes hier zu viel Raum einnehmen, und erfordert daher einen besonderen Artikel[1].

VII. Aeufsere Gestalt der Erdoberfläche.

Die Oberfläche der Erde ist uns durch die vielen Reisen allmälig in einem hohen Grade genau bekannt geworden, mit Ausnahme ihrer beiden polarischen Zonen, indem es selbst noch unbekannt ist, ob unter den Polen Land oder Wasser befindlich sey. Man hat aus theoretischen Gründen Land daselbst angenommen, weil ungeheure Eismassen die Seefahrer bisher gehindert haben, bis unter die Pole zu dringen, und man voraussetzte, das freie Meer könne nicht gefrieren, mithin müsse unter den Polen Land seyn, an dessen Küsten dieses Eis erzeugt werde. Allein dieser Grund fällt weg, da die in den Polarmeeren bewandertsten Reisenden, namentlich der erfahrenste unter allen, Scoresby, das Gefrieren des offenen Meeres nicht in Zweifel stellen[2]. Ein anderer Grund, wonach unter dem Südpole sich ein grofses Continent befinden soll, nämlich um das Gleichgewicht beider Halbkugeln herzustellen und die gröfsere Ländermasse der nördlichen zu compensiren, ist noch weniger zulässig, weil es eines solchen Gleichgewichtes gar nicht bedarf[3]. Jüngsthin hat zwar Smith aus Blythe in Northumberland unter 62° 30′ S. B. und 60° W. L. von Greenwich Land entdeckt, Neu-Schottland genannt, wovon es noch fraglich ist, ob es der Anfang eines gröfseren Continentes oder blofs eine Inselgruppe sey, allein das Letztere ist bis jetzt am wahrscheinlichsten[4]. Ueberhaupt aber sind die Seefahrer noch nicht weit genug nach dem Südpole hin vorgedrungen, um über die dortige Beschaffenheit der Erde mit einiger Sicherheit urtheilen zu können[5], und die Versuche, dort weiter zu kommen, als bis-

---

1 S. *Versteinerung.*

2 Vergl. oben Th. III. S. 140.

3 Vergl. Buache in Mém. de l'Ac. 1757. p. 190.

4 Nouvel. Ann. des Voyages. 1823. Fev. p. 237.

5 Vergl. oben V. C. 3.

her gelungen ist, bieten im Verhältniſs des zu erwartenden glücklichen Erfolges so übermäſsige Schwierigkeiten dar, daſs das von SMITH schon im Jahre 1820 entdeckte Land rücksichtlich seines Umfanges noch nicht einmal hinlänglich untersucht ist. Die am weitesten nach dem Pole zu bekannten Inseln Peter I. und Alexander I., beide unter 69° 30′ S. B., welche BELLINGHAUSEN 1821 entdeckte, waren so von Eise umgeben, daſs er daselbst nicht landen konnte [1]. Eben so unfruchtbar und öde sind die südlichen Orcaden, welche Capt. WEDDEL 1821 unter 60° 45′ S. B. und 45° W. L. von Greenwich entdeckte, und sowohl damals, als auch in den beiden folgenden Jahren jene hohen südlichen Breitengegenden so lange untersuchte, daſs die Erwartung eines Continentes daselbst stets mehr verschwinden muſs [2].

Ungleich besser sind zwar die nördlichen Polargegenden bekannt, allein dennoch keineswegs so genau, als von den zahllosen aufgewandten Bemühungen und den vielen unter den härtesten klimatischen Einflüssen aufgeopferten Menschenleben kühner und beharrlicher Seefahrer billig zu erwarten wäre. Das Bestreben, einen kürzeren Weg von Europa nach Ostindien aufzufinden, als der höchst beschwerliche um das Vorgebirge der guten Hoffnung oder durch die Magellanische Meerenge ist, hat seit Jahrhunderten die seefahrenden Nationen beschäftigt, und dieser Gegenstand ist insbesondere seit 1818 mit ununterbrochenem Eifer von den Britten betrieben. Hierbei kam es hauptsächlich auf die Fragen an, ob das eigentliche Polarmeer unmittelbar unter dem Pole und den nächstliegenden etwa 10 Breitengraden nach allen Seiten hin frei von Eise sey, wie hauptsächlich BARRINGTON [3] behauptet hat, und auch andere aus den Nachrichten holländischer Grönlandsfahrer und früherer Reisenden schlieſsen wollten [4]; oder ob man aus der Hudsons- noch directer der Baffins-Bay durch ein die Nordküsten America's begrenzendes Meer in westlicher oder nordwestlicher Richtung

---

1 Brewster's Journ. II. 353.

2 Edinb. Phil. Journ. No. XXIII. 149.

3 The possibilities of approaching the North-Pole asserted by the Hon. D. BARRINGTON. A new ed. with an appendix by BEAUFOY. Lond. 1818.

4 A chronological history of voyages into the arctic regions cet. by J. BARROW. Lond. 1818.

die Behrings-Strafse erreichen könne; oder endlich ob von den obersten Küsten Norwegens aus oberhalb Nowaja-Semlia, oder auch zwischen dieser Insel und dem Continente hin das die Küsten Sibiriens bespühlende Meer den Schiffen eine freie Durchfahrt verstatte. Als Nebenfragen standen hiermit in Verbindung, ob die Küsten Sibiriens und Nordamerica's überall vom Meere bespühlt seyen, oder unbekannte Länder ganz oder nahe zum Pole hin sich erstreckten, desgleichen ob America und Asien durch die Behrings-Strafse völlig getrennt sind, oder diese Durchfahrt nur in einen grofsen Meerbusen führe.

Nach den Resultaten der bisherigen zahllosen Bemühungen werden wir schwerlich jemals zu einer völlig genauen Kenntnifs der nördlichen Polarzone gelangen, so sehr auch die Anstrengung in den jüngsten Zeiten gesteigert ist, und die vielfachen Mittel, diesen Zweck zu erreichen, vervollkommnet sind. Dasjenige aber, was bis jetzt als das Resultat der uneigennützigsten und angestrengtesten Bemühungen, insbesondere der Engländer und der Russen, als nahe völlig ausgemacht erscheint, kommt im Wesentlichen auf Folgendes hinaus.

1. Die Nordküsten Sibiriens sind zwar noch keineswegs genau astronomisch bestimmt, allein es ist wahrscheinlich, dafs sie im Allgemeinen so sind, als man sie auf den neuesten Charten angegeben findet, und dafs sie überall vom Meere bespühlt werden. Die noch gegenwärtig statt findenden durch das russische Gouvernement veranstalteten schwierigen Bemühungen, diese Küsten näher zu untersuchen, welche die gelehrte Welt mit dem gröfsten Danke anerkennen mufs, werden hierüber nähere Auskunft geben[1].

2. Noch weit weniger kennen wir die nördliche Küste America's. Manche ältere Angaben hierüber, namentlich Maldonado's und Bernarda's Reiseberichte, ersterer angeblich von 1588, letzterer von 1640 sind entschieden untergeschoben[2], dagegen bestätigen sich die wenigen Nachrichten von

---

1 Vergl. Revue Encyc. 1824. Oct.

2 Diese fabelhaften Reisebeschreibungen, welche dem spanischen Ministerio übergeben seyn sollen, wurden erst durch Walkenaer in seiner Biographie universelle und durch Amoretti im Jahre 1812 bekannt gemacht. Vergl. v. Lindenau in Mon. Cor. XXVI. 413. Malte-Brun Annales des Voy. Cah. 63. Neuerdings ist abermals ein Versuch gemacht, die Aechtheit des Reiseberichtes zu rechtfertigen.

Mackenzie und Hearne, insbesondere aber machen die mühsamen und gefährlichen Untersuchungen von Franklin und Parry es im höchsten Grade wahrscheinlich, daſs auch die Küsten des nördlichsten America's mit einigen unbestimmbaren Abänderungen diejenige Gestalt haben, welche auf den neuesten Landcharten abgebildet ist. Auf allen Fall läſst sich aus vielen Gründen, namentlich wegen einer mit der Ebbe und Fluth zusammenhängenden Strömung des Meeres bei der Insel Melville annehmen, daſs sie durch ein Meer bespühlt werden, welches ohne Unterbrechung vom sibirischen Polarmeere anfangend durch die Lancaster-Straſse mit der Baffinsbay, und somit, wahrscheinlich auch durch einen oder mehrere Ausgänge in die Hudsonsbay mit dem atlantischen Oceane zusammenhängt.

3. Wenn man einige Male im sibirischen Polarmeere Land angetroffen haben will, so bleibt es immer zweifelhaft, ob solche Beobachtungen des ewigen Eises jener Gegenden wegen überhaupt möglich waren. Inzwischen ist die Anwesenheit von Land in jenen Gegenden nicht unmöglich, es ist jedoch nicht wahrscheinlich, selbst wenn die neuerdings projectirte Reise von Spitzbergen aus bis unter den Nordpol wirklich zu Stande kommen sollte, daſs jemals wirklich ausgemittelt werden wird, ob dieses nur einzelne Inseln sind, oder die Küsten eines gröſseren Polar-Continentes.

4. Parry hat bei seinem Aufenthalte auf der Melville-Insel allerdings Spuren erhalten, welche es wahrscheinlich machen, daſs über jene Insel hinaus noch Land vorhanden ist, ob aber bloſs Inseln oder ein Polar-Continent ist gar nicht mit Wahrscheinlichkeit bestimmbar.

5. Es ist zwar kaum zweifelhaft, daſs die Baffinsbay oben geschlossen sey. Wie weit aber das nördlichste Grönland sich erstrecke, nach welcher Richtung seine Küsten laufen, ob und in welchem Zusammenhange es mit einem möglichen eigentlichen Polar-Continente stehe, alles dieses bleibt vielleicht für immer unausgemacht[1].

---

1 Die wichtigsten Werke der hierher gehörigen weitläufigen Literatur sind auſser den schon erwähnten Werken von Barrington und Barrow noch: A chronological History of north-western voyages of discovery; by Cp. J. Burney. Lond. 1819. Mémoires et observations géographiques et critiques sur la situation des pays septentrionaux. Lausanne 1765. 4. Modern Voyages and Travels. Lond. 1819. John

Es kann hiernach also nicht mit Sicherheit bestimmt werden, wie viel von der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt sey, oder Land ausmache, inzwischen entfernt man sich nicht weit von der Wahrheit, wenn man die Ausdehnung des ersteren zu $\frac{2}{3}$, des letzteren aber zu $\frac{1}{3}$ annimmt. Indem aber über das Meer, seine Gröfse, Gestalt, Tiefe und übrige Beschaffenheit, seine Küsten, den Meeresboden u. s. w. in einem besonderen Artikel[1] gehandelt wird, so beschränke ich mich hier auf einige Hauptcharaktere des Landes, soweit dieses der physischen Geographie zugehört[2]. Die ganze Oberfläche der Erde ist oben (Absch. III.) = 9260500 geogr. Quad. Meilen gefunden. Hiervon rechnet man in genäherten Werthen[3]

Für Europa	171834	Quad.	Meil.
— Asien	641093	—	—
— Africa	531638	—	—
— America	572110	—	—
— Neuholland	143000	—	—
— Alle Inseln	1000000	—	—
Zusammen	3059675	—	—

Nicht nach der Ländermasse, wohl aber rücksichtlich der trennenden Meere läfst sich die Erde als aus zwei Hälften bestehend ansehen, deren eine das sogenannte alte, die andere aber das neue Continent oder America ausmacht. Noch ungleicher ist

Ross Voyage of discovery. cet. Lond. 1819. Journal of a Voyage for the discovery of a north-west passage etc. performed under the orders of W. E. Parry. Lond. 1821. 4. (beide auch deutsch erscheinen). Journal of a third Voyage for the Discovery of a North-West Passage from the Atlantic to the Pacific; performed in the year 1824—5. Lond. 1826. 4. (Diese und Franklin's Reise sind so eben in einer Taschenausgabe erschienen). An account of the Arctic Regions cet. by W. Scoresby. 2 Vol. 8. Edinb. 1820 in der Einleitung. Kotzebue's Reise. III. 157. Burney in Phil. Trans. 1818. p. 9. Lapie in Nouvelles Annales des Voyages par Malte-Brun. XI. p. 1 ff. Quartely Review 1818. June p. 446 u. v. a. J. Lea in Silliman's American Journ. X. 138. u. v. a.

1 Vergl. *Meer*.

2 In der Darstellung folge ich im Allgemeinen dem classischen Werke von Carl Ritter die Erdkunde u. s. w. bis jetzt II Vol. 8. Einzelne Quellen sind besonders angegeben.

3 J. E. Bode Anleitung zur allgem. Kenntnifs der Erdkugel. §. 58.

indeſs die Vertheilung des Landes, wenn man den Aequator als Scheidungslinie zweier Erdhälften betrachtet, indem weniger als ein Dritttheil der gesammten Ländermasse auf der südlichen Halbkugel liegt. Aus dieser Ursache laufen die groſsen Continente der nördlichen Halbkugel nach der südlichen hin in Spitzen aus, unter denen drei die gröſsten und einander sehr ähnlich sind, wie schon BACO[1] bemerkte, wenn auch übrigens das Land auf beiden Erdhälften durchaus regellos gestaltet, durch zahllose Buchten eingeschnitten und durch mannigfaltigst gekrümmte Ufer begrenzt ist.

Einer natürlichen Abtheilung folgend könnte man zwei Welttheile annehmen, deren jeder eine Hälfte der Erdkugel bedeckte, und beide durch eine schmale Meerenge, die Behringsstraſse geschieden wären, indem oft gesuchte gröſsere und auffallendere Harmonieen in der Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Auf der einen Halbkugel bildet *Africa* einen völlig begrenzten Theil, und hängt durch eine kurze Landstrecke mit Asien zusammen, welches letztere dagegen mit Europa ein einziges Ganzes bildet, indem die begrenzenden Gebirge, der Kaukasus und Ural, keine eigentliche Scheidung bilden. Auſserdem besteht Africa aus zwei groſsen, fast gleichen Hälften, dem südlichen Hochlande und dem nördlichen Flachlande; das Innere desselben ist gröſstentheils noch unbekannt. *Asien* ist im Ganzen bei weitem am groſsartigsten gestaltet. Ohngefähr in der Mitte desselben befindet sich ein ungeheures Hochland, von welchem aus die Gebirgsketten sich nach allen Seiten weithin erstrecken. Der westliche Theil bildet ein eben so ausgedehntes Flachland, der nördliche Abwechslungen von kleineren Hochlanden und Festlanden. *Europa* ist bloſs Flachland mit einem kleinen Hochlande in Spanien. Zugleich aber hat es ein zackiges Hochgebirge, die Alpen, von wo aus zahlreiche Aeste nach allen Seiten in das Flachland auslaufen. *America* hat in jeder seiner beiden, durch eine schmale Landenge, getrennter, Hälften ein groſses Hochland, Quito und Mexico, und ist durch die längste Gebirgskette der Erde, welche beide Hälften desselben verbindet, durchschnitten.

Die längste gerade Linie im alten Continente beginnt beim Cap Tamura unter 78° N. B., geht am Aral-See hin, durchschneidet die Persischen und Arabischen Meerbusen an schmalen

1 Nov. Org. II. 27.

Stellen und endigt bei der Capstadt unter 35° S. B. Ihre Länge beträgt etwa 1800 Meilen. Die längste Linie im neuen Continente läſst sich nicht so genau bestimmen, müſste aber vom Eis-Cap, etwa unter 72° N. B. anfangen, America schräg durchschneiden und gleichfalls unter 35° S. B. endigen.

Im Allgemeinen unterscheidet man ferner *Festland* (Continent) und *Inseln*. Der Begriff der letzteren ist unbestimmt, hängt aber von der Gröſse ab, indem die Bedingung einer völligen Umgebung mit Wasser leicht dahin führen könnte, auf der ganzen Erde nichts als Inseln anzunehmen. Uebrigens will man unter Insel einen solchen Ländertheil verstehen, welcher in weniger als einem Monate umschifft werden kann, oder weniger als 10 Grade der Breite und der Länge miſst.

Im Ganzen besteht die Erdoberfläche aus Bergen mit den ihnen zugehörigen Thälern und aus Ebenen, welche Hochebenen genannt werden, wenn sie in bedeutender Höhe über der Meeresfläche liegen, sonst aber Flachebenen heiſsen könnten.

A. Berge.

Berge heiſsen die Erhabenheiten der Erdrinde, deren oberer Theil der Gipfel (bei groſser Steilheit auch Nadel, Horn), der untere aber der Fuſs genannt wird; zwischen beiden liegt der Abhang, einzelne Erhöhungen der Gebirge und Ebenen heiſsen auch Kuppen. Mehrere an einander gereihete Berge bilden ein Gebirge, und wenn sich darunter einer oder mehrere von bedeutender Höhe befinden, ein Hochgebirge. Mehrere fortlaufende heiſsen eine Gebirgskette, und sofern sie von einem Haupt- oder Hochgebirge auslaufen, Gebirgszweige, Arme, oder Aeste, deren oberer Theil Gebirgsrücken genannt wird. Rücksichtlich der Länge unterscheidet man Hauptgebirge von etwa 30, Mittelgebirge von etwa 20 und kleine Gebirge von etwa 10 Meilen Längenerstreckung, und eben so rücksichtlich der Höhe Haupt- oder Hoch- auch hohe Gebirge von mehr als 6000, mittlere von mehr als 3000 und niedere von mehr als 600 F. Höhe, die noch niedrigern werden zwar oft Berge genannt, verdienen aber nur den Namen Hügel. Einzeln stehende Berge sind selten; am meisten findet man sie auf Inseln als vulcanische Pics, z. B. der Pico di Teneriffa, der Aetna u. a. Sonst gehören unter die bekanntesten der Felsen von Gibraltar, der Puy-de-Dome und mehrere in der Auvergne, der Berg

Aornos in Bijore in Indien, die Festung Gwalior in Hindostan, der Zobtenberg in Schlesien, die Landskrone in der Lausitz u. m. a. Meistens laufen dagegen die Gebirgsketten durch unglaublich lange Strecken von den Hauptgebirgen aus, erstrecken sich oft weit in das Meer, wo sie durch einzelne Felsen und Inseln ihre Richtung bezeichnen, und es wäre wohl nicht unmöglich, einen Zusammenhang aller auf der Erde nachzuweisen. Aeltere Geographen[1], welche die Felsenzüge gleichsam als das Gerippe der Erde ansahen, wollten in denselben einen Bergäquator und Parallele finden, welche indeſs nicht mit dem geographischen Aequator parallel, sondern eine nördlichere Richtung befolgend mit ihm einen beträchtlichen, nicht genau bestimmten Winkel bilden sollten[2]. Nach andern sollten sich zwei mit dem Aequator nahe parallel laufende Bergketten, eine unter 50° N. B. die andere unter 25° S. B. befinden[3]. Büffon[4] läſst die Bergketten von Norden nach Süden laufen, welche Richtungen von andern die Bergmeridiane genannt werden. Indeſs muſs man mit Pallas und den neueren Geographen annehmen, daſs die Richtung der Bergketten überall kein regelmäſsiges Gesetz befolgt[5].

Zu den hauptsächlichsten *asiatischen Gebirgsketten* gehören das Ural - in seiner Fortsetzung Wercholur - oder Paiassowoi-Pawdinskoi - Gebirge, welches nicht weit vom Caspischen Meere unter 45° N. B. anfängt, und mit seinen letzten Spitzen unter oft wechselnden Namen sich in das Eismeer verläuft. Es bildet die Grenzscheidung zwischen Europa und Asien. An dieses schlieſst sich der Kaukasus und südlicher herabgehend der Mingol und Ararat. Der Taurus und Antitaurus fängt im ehemaligen Kleinasien an, hängt mit dem Libanon zusammen, welcher der Küste des Mittelländischen Meeres parallel läuft und an die in der Richtung des rothen Meeres in Arabien sich herabziehende Gebirgskette grenzt. Eine dieser fast parallele Gebirgskette geht zum Persischen Meerbusen herab und hat den Namen

1 Unter die Vertheidiger dieser Ansichten gehört vorzüglich Bourguet in: Lettres philos. sur la formation des sels et des cristaux. Amst. 1729. 8. p. 183.

2 J. C. Gatterer Abriſs der Geographie. Gött. 1775. S. 91.

3 J. de Phys. 1779. Leipz. Samml. II. 2.

4 Hist. Nat. II. 17. Mehr beschränkt ist diese Meinung in Suppl. IX. 440.

5 Kant Phys. Geogr. II. 2. S. 17.

Erwend und Daarnewend. Bei weitem die längste Gebirgskette ist diejenige, deren Haupttheil der Altai ausmacht, weswegen sie auch die Altai'sche genannt wird. Sie läuft etwa im Parallel von 50° N. B., hängt durch die Alginskischen und die grofsen Songarischen Grenzgebirge mit dem Ural zusammen, erreicht ihren höchsten Punct im grofsen Altai, und schliefst sich durch das Khangai-Gebirge an das Jablonoy-Chrebet oder Aepfelgebirge, welches unter dem Namen Stanowoy sich bis zur nördlichsten Küste Sibiriens erstreckt. Eine andere Gebirgskette läuft in der Gegend des Baikal-Sees von diesem aus durch Sibirien bis zum Eismeere; aus dem Stanowoy-Gebirge aber läuft eine Kette durch Kamtschatka, deren weitere Richtung durch die Kurilischen und Japanischen Inseln bezeichnet wird.

Eine zweite Asiatische Hauptgebirgskette, mit der Altai'schen parallel unter 35° N. B. erreicht ihren höchsten Punct so wie jene ohngefähr in 100° L. unter dem Namen Mustag- oder Imaus-Gebirge. Von ihm läuft eine Kette in vielen Krümmungen nördlich unter dem Namen Karangu-Tag, Belur-Tag[1], Mussart und Chabarga bis zum Altai-Gebirge. Eine andere Kette läuft westlich durch Persien zum Kaukasus hin unter dem Namen Hindukuh oder Hindu-Cusch, Gaur, Manesch, Madnofriad und Alburs. Vom Hindukuh läuft ein Arm, gewöhnlich die Salomonskette genannt, mit dem Indus fast parallel bis an den Persischen Meerbusen[2]. Von der Ostseite des Imaus laufen zahlreiche Gebirgsketten von Tibet aus zum Theil nach Süden, deren eine bis Malacca und von da durch Sumatra, Java und den Indischen Archipelagus verfolgt werden kann. Eine läuft durch Tibet bis Cochin-China, zwei andere durch China östlich; der gröfste Zweig geht nordwestlich, wirft dann einen Nebenzweig theils nördlich bis zum Aepfelgebirge, theils östlich bis nahe zum Japanischen Meere, woselbst er als Tschang-Pechan-Gebirge südlich an der Küste von Korea und nördlich an der Küste von Amur hinläuft. Diejenige Asiatische Gebirgs-

1 Belur-Tag oder Belut-Tag bezeichnet wolkige Berge.

2 Die Existenz der Salomons-Kette wird von einigen Geographen in Zweifel gezogen. Nach Elphinstone's Reis. I. 143. schickt sie 3 Zweige nach Osten unter 32° und 34° N. B., und 2 streichen über den Indus. Die Berge derselben sollen niedriger als der Hindu-Kuh, aber doch das ganze Jahr mit Schnee bedeckt seyn.

kette, welche zwar nicht die gröfste Ausdehnung, wohl aber die höchsten Bergspitzen auf der ganzen Erde hat, ist das Himlaya-Gebirge, welches mit dem Imaus fast parallel läuft, und durch die Flüsse Indus und Tsampu davon getrennt wird. Seine östliche Spitze bildet das Kambala, die westliche das Kantaische Gebirge, einen Hauptzweig aber sendet es in vielen Krümmungen südlich, welcher mit dem Yind-Huan in Hindoustan und dem Gautsch an der Malabarischen Küste zusammenhängt. Das riesenhafte Gebirge giebt unter andern den Riesenströmen Ganges und Burampatr ihren Ursprung[1].

Africa ist uns noch zu wenig bekannt, als dafs wir seine Gebirgszüge genau kennen könnten. Etwas näher kennt man die Mondsgebirge unter 10° N. B., von welchen mehrere Aeste nach den verschiedensten Seiten sich hin erstrecken. Eine andere, gleichfalls unter 10° N. B. von Ost nach West laufende Gebirgskette will Mungo-Park gesehen haben, und neuere Reisende bestätigen dieses. An der südlichen Spitze dieses Welttheils, nahe bei der Cap-Stadt fängt eine von der Küste aus nördlich laufende Bergkette an, welche mehrere Zweige in das Innere des Landes sendet. Die Insel Madagascar wird der Länge nach durch das Ambohitsmene oder Vohitsanghombe (oder das rothe) Gebirge durchschnitten. Am bekanntesten endlich ist das im nordwestlichen Theile von Osten nach Westen hinlaufende Atlas-Gebirge, welches in seinen Hauptpuncten Lowat und Nefusa genannt verschiedene Zweige aussendet.

---

1 Interessante Nachrichten über jene Gegenden enthält die von Ritter benutzte: Elphinstone's Geschichte der englischen Gesandtschaft an den Hof von Kabul; üb. v. Rühs in Neue Bibl. d. Reis. B. IX. Weim. 1817. Man ersieht daraus, dafs die unübersteiglichen Berge und die nachher zu erwähnenden Sandwüsten einzelnen Reisenden das Vordringen nach Indien höchst gefährlich, ganzen Corps, geschweige denn Armeen durchaus unmöglich machen. Man sieht von Afghanistan aus 4 Reihen Berge von unglaublicher Höhe, deren höchste Spitzen in mehr als 100 engl. Meilen sichtbar sind. Bei heiterem Himmel gewähren ihre gleichsam durchscheinend sich zeigenden Spizzen einen imposanten Anblick. Die dazu gehörige Paropamisus-Kette ist 350 engl. Meilen von Osten nach Westen und 200 e. M. von Norden nach Süden ausgedehnt, für Reisende fast unzugänglich, wird aber von den Eimakern und Hasarern bewohnt. Ueber die Himlaya-Gebirge vergl. G. Govan in Edinb. Journ. of Sc. III. 17. IV. 277. Ueber den Zusammenhang der Berge in Asien vergl. v. Humboldt in Ann. Ch. Ph. III. 297.

Die *Europäischen Gebirgsketten* sind gröfstentheils unbedeutend gegen die weit gröfseren Asiatischen, haben aber als die bekanntesten ein höheres Interesse. Unter die wichtigsten gehören die Pyrenaeen, welche die Grenze zwischen Spanien und Frankreich bilden, und an die unter verschiedenen Namen in westlicher Richtung mit der Küste parallel bis zum Cap Finisterre laufenden Gebirge grenzen. An diese letztere Gebirgskette stöfst eine andere, welche in südlicher Richtung die Pyrenäische Halbinsel durchschneidet, wozu vorzüglich die Iberischen Gebirge und die von Granada gehören. Mehrere Zweige laufen von hieraus westlich nach der Küste hin. Im südlichen Frankreich beginnt eine Bergkette mit den Cevennen, läuft nördlich, schickt einen Nebenzweig nordwestlich, welcher die Flufsgebiete der Seine und Loire trennt, bis an die Küste von Brest; eine andere mehr nördlich zwischen Marne und Maas nach den Ardennen.

Als den höchsten Europäischen Gebirgspunct hat man die Alpen anzusehen, von welchen eine Menge Zweige nach allen Richtungen auslaufen. Vom Montblanc über den kleinen Bernhard und Mont-Cenis erstrecken sich die Meeralpen südwestlich, und verlaufen sich in den Bergen hinter Marseille. An diese stofsen die Appenninen, welche Italien der Länge nach durchschneiden und von Sicilien's Bergen durch die Meerenge getrennt werden. Eine gleich grofse Gebirgskette läuft vom Gotthard aus, begreift die Rhätischen, Tyroler, Karnischen, und Julischen Alpen, zieht sich unter dem Namen der Dinarischen Alpen an der Küste des Adriatischen Meeres hin, und schickt einen Arm nach Griechenland, einen andern gröfseren aber in östlicher Richtung unter dem Namen der Sardischen Berge. Mit den Schweizeralpen zusammenhängend sind ferner die Gebirge des Schwarzwaldes, welche an die Schwäbischen Alpen und hierdurch an den Böhmerwald grenzen, mit Unterbrechungen sich bis zum Fichtelgebirge, und so bis zu den Harzgebirgen und deren Verzweigungen erstrecken. Nördlich vom Schwarzwalde liegt das Odenwaldsgebirge, neben dem Fichtelgebirge das Rhön- und Vogels-Gebirge, am rechten Ufer des Rheins die Rheingauer und Nassauischen Gebirge, der Westerwald und das Siebengebirge, von welchen Verzweigungen bis zu den Harzgebirgen verfolgt werden können. An das Fichtelgebirge grenzt das sächsische Erzgebirge, welches wie-

der mit den Böhmischen Gebirgen und den Sudeten zusammenhängt. Letztere, welche die Grenze zwischen Böhmen und Schlesien bilden, schliefsen sich an die Carpathen, deren äufserstes Ende unter dem Namen des Sarmatischen oder des Tartargebirges die nördliche Grenze des östlichsten Ungarns bildet. Im östlichsten Theile von Europa aus einer weiten Ebene nicht bedeutend hervorragend, liegt das Wolchonskoi-Gebirge, welches sich nach verschiedenen Seiten hin zwischen dem Don, der Wolga und dem Dniepr verzweigt. Grofsbrittannien wird der Länge nach von einer gekrümmten, verschiedene Zweige aussendenden Gebirgskette durchschnitten, welche aber keine so hohe Puncte darbietet, als diejenige, welche Scandinavien durchschneidet, und in ihrem Hauptzuge unter dem Namen des Kiölen- oder Sewoo-Gebirges die Grenze zwischen Norwegen und Schweden bildet[1].

America[2] wird seiner ganzen Länge nach von einer Bergkette durchzogen, welche nahe am Meere an der westlichen Küste desselben hinläuft, und die beiden Hälften dieses grofsen Continentes verbindet. Im südlichen Theile machen die Gebirge den vierten Theil der gesammten Ländermasse aus, und bilden eine Gebirgskette, die Andes-Cordilleren, welche an der Magellanischen Strafse bei Cap Pilares anfängt, bis zum Vorgebirge Paria, der Insel Trinidad gegenüber hinläuft, und drei Gruppen, nämlich die der Sierra Nevada de Santa Maria, die des Orinoco oder Parime und die in Brasilien bildet. Der ganze östliche Theil von America hat keine Gebirge, welche die Schneegrenze erreichen, obgleich die hohen Cordilleren an der östlichen Seite dieses ganzen Continentes hinlaufen, die Landenge zwischen den beiden Hälften des Welttheiles bilden, und sich bis zum 68sten Grade N. B. erstrecken, indem zugleich der Berggruppe in Brasilien eine ähnliche in der nördlichen Hälfte des Welttheils, nämlich das Alleghanni-Gebirge entspricht, dessen höchster Punct der Berg Washington unter 44°,25 N. B. von 6634 engl. F. Höhe ist. Berge also, welche

---

1 Ueber den allgemeinen Zusammenhang der Höhen von Fr. Schultz. Weimar 1803. 4. mit einer schönen orographischen Charte von Europa. Vergl. Einleitung in die allgemeine Erdkunde von Fr. Förster. Berl. 1818. 4.

2 S. v. Humboldt Voy. T. X. p. 1 bis 177, wo ausführlich über die Gebirge America's gehandelt wird. Vergl. Reisen III. 263.

den Montblanc an Höhe übertreffen, finden sich in America nur in der Andes-Kette, welche auch in Mexico unter 19° N. B. eine Höhe von 2770 Tois. erreicht. Die einzige Berggruppe, deren Spitzen fast 3000 T. erreichen, ist die Sierra de Santa-Marta, welche indeſs nicht östlich von der Cordilleren-Kette liegt, sondern zwischen der Verlängerung von zwei Armen derselben, des von Merida und von Veragua.

1. Vor allen Dingen zeichnen sich also die Cordilleren aus. Sie haben eine Länge von nahe 3000 Lieues, und bestehen aus mehreren verbundenen Ketten, welche sich bald mehr bald weniger erheben, nahe am Aequator aber ihre gröſste Höhe erreichen. Beim Cap Pilares fägnt dieser Gebirgszug mit einer Höhe von 218 T. an, läuft dann in verschiedenen Biegungen und bei noch unbestimmter, aber nicht unbeträchtlicher Höhe etwa bis zum achten Grade S. B. fort, woselbst der Huaylillas die Schneegrenze erreicht, und dann kein Berg früher bis zum Chimboraço unter 2° S. B. Von hier aus enthält er die höchsten Berggipfel, theilt sich zuweilen in zwei oder auch drei Ketten welche Plateaux zwischen sich haben, schickt verschiedene Zweige nach Osten, senkt sich vor seinem Eintritte in die Landenge, erhebt sich aber daselbst wieder, läuft durch dieselbe hin, und erreicht im Parallele von Mexico abermals seine gröſste Höhe. Von hieraus läuft er nach Guanaxato unter 21° N. B. wo die reichsten Silberbergwerke der Erde sind, erhält eine auſserordentliche Breite und theilt sich in drei Ketten, welche sich unter 30° N. B. wieder vereinigen. Vom 33sten Breitengrade an bildet der Rio del Norte ein groſses Längenthal, und überhaupt scheint selbst die Centralkette in mehrere parallele Streifen getheilt zu seyn, läuft auf diese Weise mit einigen in die Schneegrenze ragenden Spitzen von 10000 bis 11200 F. absoluter Höhe bis zum 41sten Grade, nimmt an Höhe ab bis zum 46sten Grade, erhebt sich unter 48° wieder mit Spitzen von 7200 bis 7800 F., nimmt eine östlicher Richtung gegen den oberen See hin zwischen dem Bette des Missouri und des Winnipeg- und Sclaven-Sees, und gelangt in dieser Richtung unter etwa 69° N. B. an die Mündung des Mackenzie-Flusses. Daſs endlich die ganze, so weit ausgedehnte Kette neben ihrem allgemeinen Namen aus den zahlreichsten einzeln benannten Bergen und Bergzügen bestehe, liegt in der Natur der Sache.

2. Aufserdem enthält America noch eine Menge einzelner Berggruppen, wovon die bedeutendsten folgende sind:

a. Die isolirte Berggruppe Sierra Nevada de Santa Marta liegt eingeschlossen zwischen zwei Armen der Andes, dem von Bogota und dem des Isthmus, erhebt sich steil aus der Ebene und ist an ihren Spitzen mit ewigem Schnee bedeckt.

b. Die Küstenbergkette von Venezuela, welche als unmittelbarer Zweig von den Cordilleren nahe am Ufer des Meeres der Antillen unter verschiedenen Benennungen hinläuft. Sie theilt sich in zwei Arme, einen nördlichern und einen südlichern, welche weite Thäler von ungleicher Höhe zwischen sich einschliefsen, und zum Theil die ausgedehnten Llanos begrenzen.[1]

c. Die Berggruppe von Parime, Sierra Parime vom See gleiches Namens durch v. Humboldt genannt, trennt zum Theil die Stromgebiete des Orinoco und Amazonenstromes, besteht aus mehreren zusammengruppirten Bergreihen, welche nach allen Richtungen hinlaufen, und worin der Pic d'Uniana von mehr als 3000 F. der höchste Punct ist.

d. Ohngefähr zwischen dem 18 und 28 Grade S. B. liegt der gröfste, über 400 T. Höhe erreichende Centralpunct der Brasilianischen Berggruppe, welche in mehreren Verzweigungen sich nach allen Seiten hin ausbreitet, und wozu unter andern die Serra do Mar, südwestlich von Rio Janeiro, die Serra do Espinhaço bei Villaricca, die gröfste und höchste von allen, die Serra dos Vertentes, die Serra do Franca u. a. gehören. Den höchsten Punct macht der Itacolumi von 900 T. Höhe.

e. In Nordamerica[1] bilden die Alleghanni - Gebirge eine bedeutende Berggruppe, worin der Washington mit 1040 Tois. den höchsten Punct macht.

f. Auch die Berge der Antillen bilden eine eigene Gruppe, worin die blauen Berge unter 18° 12′ N. B. 1138 Tois. hoch, die gröfste Höhe erreichen.

Neuholland enthält eine sehr grofse Gebirgskette, die sogenannten blauen Berge, welche sich durch verschiedene in physikalischer Hinsicht merkwürdige Eigenthümlichkeiten auszeichnen; sie setzen indefs dem Reisenden wahrhaft unüber-

---

1 Der nördlichere Theil des neuen Continentes ist noch zu wenig untersucht, als dafs der Zusammenhang seiner Bergketten hinlänglich bekannt seyn sollte.

windliche Schwierigkeiten entgegen, weswegen unter verschiedenen Versuchen, etwas tiefer in dieselben einzudringen, bloſs die letzteren einige etwas genügende Resultate gegeben haben[1].

Eine eigene Classe von Bergen, welche durch ihre eigenthümliche Gestalt und einerseits sowohl ihre Isolirung als andererseits ihren Zusammenhang unter einander vorzügliche Aufmerksamkeit verdienen, sind die vulcanischen. Da sie aber eine umfangendere Untersuchung verdienen, so müssen sie ausführlicher betrachtet werden, als hier der Raum gestattet[2].

Man hat viele Zeit und Mühe darauf verwandt, die Höhen der Berge und insbesondere ihre höchsten Spitzen kennen zu lernen. Im Ganzen genommen gehört dieser Gegenstand zu der Aufgabe, bei der Bestimmung der Lage irgend eines gegebenen Punctes der Erdoberfläche die dritte Coordinate zu finden, indem die beiden anderen nach dem was oben (II. im Anf.) hierüber beigebracht ist, durch die bekannte Länge und Breite desselben gegeben sind, und wobei man diese dritte im Spiegel des Meeres = 0 setzt. Am häufigsten wird die Höhe über dem Meeresspiegel durch barometrisches Höhenmessen gefunden. Indem aber dieses interressante physikalische Problem an seinem Orte vollständig untersucht nnd mit andern Bestimmungsmethoden verglichen werden wird, so ist es am zweckmäſsigsten, die gefundenen Resultate dort hinzuzufügen[3].

B. Thäler

werden die tiefer liegenden Räume genannt, welche die Berge trennen, und in gerader oder gekrümmter Richtung zwischen zwei Bergen oder Bergketten in gröſserer oder geringerer Länge hinlaufen. Selten sind sie horizontal, wenn sie zwei Berge völlig trennen, oder wenn man uneigentlich die nächste Ebene unter einem Berge mit dem Namen Thal bezeichnet, in der Regel aber liegen sie am einen Ende höher, indem sie an einem Gebirgsabhange ihren Anfang nehmen, dort meistens schmaler sind, und sich dann entweder in ein anderes Thal oder endlich in die Ebene verlaufen. Der tiefste Theil derselben, oder ihr Grund

---

1 Vergl. J. d. Ph. LXVII. 464.

2 S. *Vulcane*. Ebend. von den Schlammvulcanen und den Gas-Vulcanen oder sogenannten Salsen.

3 S. *Höhe nmessen.*

heiſst die *Thalsohle*, der *Thalweg*, wodurch man meistens zu den gröſseren Höhen der Gebirge gelangt. Sonst unterscheidet man *Längenthäler*, welche mit der Richtung der Gebirge parallel laufen, und *Querthäler*, welche diese unter fast rechten Winkeln durchschneiden, *Hauptthäler*, welche von dem hohen Gebirgsrücken bis an den Fuſs herablaufen, und *Nebenthäler*, welche nur einem Zweige des Gebirges zugehören. Die Ausdrücke: *Fluſsthäler*, *Stromthäler* und *Meeresthäler* sind an sich klar.

Die Thäler steigen so viel höher an und sind überhaupt desto groſsartiger, je höher und gröſser die Gebirge sind, wozu sie gehören, zugleich aber hat v. Humboldt[1] bemerkt, daſs die Längenthäler ungleich höher liegen als die Querthäler. So erhebt sich die Thalsohle des Thales von Cuença bis zu 1350 T., von Alausi und Hambato bis 1320 T., das Thal von Quito an seinem östlichen Theile bis 1340, an seinem westlichen bis 1490 T. das Bassin des Almaguer bis 1160 T., des Rio Cauca bis 500 T. Auf gleiche Weise ist es im alten Continente, wo das Plateau von Mysore zwischen 380 bis 420 T., das im Innern von Spanien 350 T., das zwischen den Alpen und dem Jura 270 T., das Baiersche 260 und das Schwäbische 150 T. erreicht. Die ungleiche Höhe der Längenthäler vor derjenigen der Querthäler ersieht man unter andern aus der Vergleichung derjenigen, welche sich in den Anden finden, wo die ersteren 1200 bis 1500 T. erreichen, während das von NO. nach SW. gerichtete Thal von Patias, obgleich zwischen sehr hohen Bergspitzen nicht mehr als 350 T. absoluter Höhe hat. Aus den Ebenen der Lombardei kann man in einer auf die Längenrichtung der Tyroler Alpen lothrechten Linie 8,75 Meilen vordringen, und findet bei Botzen die Höhe der Etsch nur 182 T., dagegen erhebt man sich von Botzen zur Spitze des Brenner's auf eine Strecke von 4,71 Meil. bis 746 T.[2].

Meistentheils sind die Thäler durch Wegspülungen und allmäliges Einreiſsen des Wassers entstanden, oder scheinen dieser viele Tausende von Jahren anhaltenden Einwirkung ihren Ursprung zu verdanken. Hierfür spricht die Gestalt derselben, desgleichen daſs, in den meisten stets flieſsende oder minde-

1 Voy. X. 86.

2 v. Humboldt Voy. X. 84.

stens bei heftigem Regen sich ansammelnde Gewässer ihren Lauf haben, wobei dann die Gestalt der Ufer und oftmals selbst erneuerte Spuren frischer Zerreifsungen die Sache im Allgemeinen genugsam beweisen. Woher könnten auch die Flüsse und Ströme die unglaubliche Menge Sand und Kies erhalten, welche sie stets in der Richtung ihres Laufes fortführen, wenn sie ihnen nicht von den zerfallenen Felsarten dargeboten würde, durch welche sie fliefsen? Wollte man aber alle Vertiefungen zwischen den Bergen aus dieser Ursache ableiten, welcher vorzugsweise nur die Querthäler ihren Ursprung verdanken, so könnte dieses namentlich auf die völlig eingeschlossenen Thäler, z. B. von Titicaca, Mexico, Cuença und viele andere, nicht angewandt werden, welche das gesammelte Wasser nur durch enge Seitenabflüsse verlieren, und die gröfsten Geologen sind daher der Meinung, dafs hauptsächlich die Längenthäler und die zwischen hohen Bergen eingeschlossenen damals schon als Spalten und Vertiefungen zurückblieben, als die umgebenden Erhöhungen aus der Tiefe emporgehoben wurden[1].

C. Ebenen.

Die Ebenen sind entweder von Bergen und Hügeln durchschnitten und daher geringer an Flächenausdehnung, in welchem Falle sie sich eignen, die reizenden Landschaften der Erdoberfläche zu bilden, oder sie erstrecken sich weit, sind aber fruchtbar und deswegen stark mit Cerealien angebauet, in welchem Falle sie zu den reichsten und keineswegs unangenehmen Theilen der Länder gehören, oder sie bieten durch hohes Gras reiche Viehweiden dar, geben minderen Ertrag als jene, und werden ermüdend für das Auge der Reisenden und der Bewohner. Noch mehr aber ist Letzteres der Fall, wenn sie mit unfruchtbaren Heidearten überzogen oder gar mit Sand und Kies bedeckt sind, in welchem Falle sie durch übermäfsige Ausdehnung, brennende Hitze und Mangel an Nahrung und Wasser zu den furchtbarsten Einöden werden, welche für die Reisenden eben so undurchdringlich sind als die höchsten und längsten Gebirgsketten, und noch obendrein durch endlose Einförmigkeit Geist und Phantasie tödten. Kleinere Districte dieser

---

1 L. v. Buch Geognostisches Gemälde von Süd-Tyrol. 1823. S. 8. v. Humboldt Voy. X. 87.

verschiedenen Arten giebt es viele, es können hier aber nur die ausgezeichnetsten kurz erwähnt werden.

1. Die *Llanos* oder Ebenen in der Mancha in Spanien. Sie gleichen denen in America, und bieten gute Viehweiden dar.

2. Die *Heiden* (ericeta, von den vielen dort wachsenden Heidearten, hauptsächlich der erica vulgaris so genannt), welche sich von der Grenze Jütland's durch Lüneburg und Westphalen bis in die Niederlande erstrecken, am zusammenhängendsten zwischen Oldenburg und Osnabrück. Verhältnifsmäfsig sind nur geringe Theile davon urbar gemacht, welche einen sandigen, unfruchtbaren Boden liefern. Einige Strecken sind mit Kieferwäldern bedeckt, andere haben moorigen Boden, welcher zum Theil Torf erzeugt, zum Theil durch das Wegbrennen der oberen, mit unfruchtbaren Pflanzen bedeckten, Kruste (das sogenannte Moorbrennen[1]) zur Erzeugung von Buchweizen geschickt gemacht wird.

3. Die grofsen, theils trocknen theils noch sumpfigen, *Viehweiden* in Ungarn zwischen der Donau und Theifs, welche sich durch die in ihnen beobachtete Luftspiegelung auszeichnen. Sie liegen 30 bis 40 Tois. über dem mehr als 80 Meilen entfernten Meere. Mehrere Quadratmeilen sind von Dörfern und Viehweiden ganz entblöst, vom Horizonte ringsum begrenzt und heifsen Puszta[2].

4. In Rufsland zwischen dem Dnepr, dem Don und der Wolga trifft man ausgedehnte Viehweiden, *Steppen,* welche sich weit nach Polen in die Ukraine erstrecken. Sie sind wahre Savanen mit sehr hohem Grase, völlig eben und ohne Hügel, gewähren aber gute Viehweiden[3].

5. In Asien ist unter andern das wüste Arabien als weite *Sandebene*, ganz ohne Pflanzenleben, am meisten bekannt. In Persien giebt es gleichfalls grofse, ganz pflanzenleere Wüsten, und eben so in Syrien, desgleichen zwischen dem Jaxartes und Oxus[4].

6. Die furchtbarste asiatische, der bekannten africanischen fast gleichkommend ist die *Wüste Gobi* (oder Kobi, die Wüste

---

1 L. L. Finke über den Moordampf. Hann. 1819. 8.

2 v. Humboldt Reis. III. 251.

3 Pallas Reis. II. 75. III. 638.

4 Meiners Unters. über d. Menschenarten, I. 101.

im Tartarischen, auch *Schamo* genannt von Scha, Sand und Mo, ein Haufen; oder *Khan-hai*, das Sandmeer im Chinesischen), welche sich der Länge nach von Osten nach Westen zwischen China, Daurien und Sibirien hinzieht, und auch schlechthin die grofse Wüste genannt wird. An ihrem östlichen Ende ist sie nirgend über 100 Stunden breit, und die Caravanenstrafse zwischen Kiachta und Peking durchschneidet davon nur 64 Stunden, aber auch dieser Strich ist hinreichend ganze Caravanen zu vernichten. An ihrem westlichen Ende ist sie weit gröfser, nirgend schmaler als 100 Stunden, und nimmt die ganze Westgrenze von China nordwärts zwischen 32° bis 43° N. B. ein. Hier müssen die Reisenden von Seleginsk oder Kiachta aus auf eine Strecke von 450 Stunden stets die besten Gegenden suchen und mitunter völlige Einöden, 40 bis 100 Stunden breit, passiren. Sie läuft hier in mehrere Zweige aus, und ist an der Grenze von einzelnen Wasserstellen und Weideplätzen durchschnitten, die aber nicht einmal den africanischen Oasen gleichen, indem blofs tartarische oder mongolische Horden dort einen Aufenthalt finden können. Man unterscheidet a. die *östliche Gobi* zwischen Kiachta und Peking, auch die Gobeiskaiasteppe der Russen genannt. Sie ist eine gewifs sehr hoch liegende Ebene, eine eigentliche Hochebene, mit grobem Sande, Grus und Kieseln bedeckt, worunter sich farbige und edle Steine befinden, namentlich sehr schöne Carneole, Chalcedone und Cacholong. Eigentlicher Flugsand ist gar nicht vorhanden, eben wie keine Vegetation, nur selten eine Zwergacazie. Zuweilen zeigen sich Quellen, welche aber sogleich wieder im Sande verschwinden und meistens salzig sind. Man hat daher Brunnen gegraben und mit Steinen ausgesetzt, allein sie fallen oft zusammen und enthalten nicht selten salziges Wasser, sind aber meistens nur 8 bis 10 F. tief, und die meiste Zeit mit Eis bedeckt. Die Chinesen haben aufserdem zu Pagul und am Schara-Murin Magazine angelegt, um dem fürchterlichen Mangel an Futter vorzubeugen; ihre Couriere legen den Weg von Peking bis Kiachta auf Dromedaren in 51 Tagen zurück, gröfsere Caravanen von 500 bis 600 Thieren aber bedürfen längere Zeit, und wenn sie im Herbste reisen, so mufs die Zahl der Pferde sehr vermehrt werden, weil oft in einer Nacht 10 bis 20 ja sogar 30 Stück vor Hunger, Kälte und Ermüdung sterben. Die Caravane des Reisenden Lange hielt einen Rasttag zu Beroldschi Guduck am

südlichen Anfange der Hungersteppe, um nach Wasser zu graben; 40 Mann arbeiteten den ganzen Tag, um die 4 F. dicke harte Thonlage zu durchbrechen, fanden Wasser, über welches die Pferde mit ungestümen Andrange herfielen, aber dennoch starben in der Nacht 23. Neben dem Mangel ist auch die Kälte das ganze Jahr hindurch furchtbar, und aufser etwas getrocknetem Mist giebt es kein Brennmaterial. Selbst im Zelte des mächtigen Tartarenkaisers Mangu-Khan in Karakorum brannte auf einer Kohlenpfanne nur Dornengesträuch und Viehdünger, als die Gesandten Ludwigs IX., unter denen Rubruquis war, im J. 1253 Audienz hatten. Bäume sind so selten, dafs die Mongolen von einigen Steppen, auf denen etwas Nadelholz steht, wie von einem Paradiese reden. Die strenge Kälte jener Gegenden, obwohl zwischen 43° bis 45° N. B., ist schon aus Dschingis-Khan's Feldzügen bekannt. Die Mongolen tragen stets Schafspelze, indem die warme Jahreszeit erst gegen Ende Juni's anfängt, weswegen jener Eroberer seinen Truppen doppelte Pelze, den Pferden Decken von Filz gab, so auf die Jagd und zum Kriege auszog, und die weichlichen Bewohner der Niederungen leicht überwand, welche ihm dagegen im Sommer wegen einreifsender Seuchen überlegen waren. Auch mitten im Sommer ist es hauptsächlich des Nachts empfindlich kalt, bis zum Gefrieren des Eises, und es ist namentlich auch aus den Kriegen zwischen den Chinesen und Hunnen bekannt, dafs oft kaltes und ungestümes Wetter mit Schneegestöber eintritt, welches die Letzteren den bösen Geistern beizumessen pflegten.

b. Die westliche Wüste liegt weniger hoch und ist daher auch minder kalt, würde aber sonst durch den Flugsand noch furchtbarer seyn, welchen die Ostwinde von jener her hier aufgehäuft haben. Letzterer macht das Reisen gefährlicher, weil er die Spuren verweht, so dafs die Caravanen sich daher hauptsächlich nur nach den Knochen verunglückter Menschen und Thiere und nach den Spuren des Düngers richten können [1]. Fünf Tagereisen von Kaschgar liegt eine Stadt Lop am See gleiches Namens, welche am Eingange der grofsen Wüste ein wichtiger Ruhepunct für die Caravanen ist. Von da an geht es 30

---

1 Verfolgte Fürsten flüchteten von Kaschgar aus nicht selten mit ihren Anhängern in dieselbe, kamen aber um, wenn sie selbst den Ausweg nicht finden konnten.

Tage ununterbrochen durch die Wüste im Sande mit einigen unbedeutenden Erhebungen, man findet aber doch auf den verschiedenen Stationen für 50 bis 100 Menschen nebst ihrem Viehe hinlänglich Wasser. In der Gegend von Turfan (etwa 43° 30′ N. B.) herscht über dem Sande eine unerträgliche Hitze, auch sind dort schon die heifsen Winde zu fürchten[1].

7. Die Wüste *Sind* liegt zwischen dem Plateau von Decan und den Flüssen Indus und Ganges. Vorzüglich nach dem Indus hin ist sie eine wahre Sandwüste. Elphinstone giebt ihre Breite zu 80 und ihre Länge von Multan bis nach der Küste hin südlich zu 110 deutschen Meilen an. In ihr befinden sich viele bebauete Stellen und eigentliche Oasen, auch gröfsere Ortschaften und bedeutende Festen, der wüste Theil aber ist mit tiefem Sande bedeckt, welchen der Wind zu Hügeln aufthürmt, und diese in wechselnder Höhe vor sich her treibt. Elphinstone traf an verschiedenen Stellen feste gebahnte Wege, neben denselben aber und wo sie fehlten sanken Kameele und Pferde bis an die Knie in den Sand. Hügel, aus diesem von 20 bis 100 F. aufgethürmt wandern nach der Richtung des Windes. Die Brunnen sind meistens tief, zuweilen bis 300 F. und stets etwas salzig. Um sich gegen Feinde zu schützen, decken die Einwohner der Ortschaften diese Brunnen mit Brettern zu, und überschütten diese mit Sande, wodurch das Fortkommen feindlicher Truppen unmöglich wird[2]. Am Ende der Sandwüste, ehe man nach Bahawalpur kommt, ist eine Fläche ohne Sand, ein harter Thonboden ohne Wasser, Pflanzen und Menschen, eine 20 Meilen lange furchtbare Einöde[3].

8. Ihr ähnlich ist die Sandwüste ***Beludschistan***, ein Zweig der grofsen Wüste. Sie besteht durchgehends aus sehr feinem rothen Sande, welcher hoch aufgehäuft seyn mufs, da die Brun-

---

1 Ritter a. a. O. I. 492.

2 Elphinstone zog, aufser dem nach Cabul bestimmten Gesandtschaftspersonale mit 600 Kameelen, 12 Elephanten und 150 Mann Escorte, und es starben in den ersten 8 Tagen 40 Menschen, weil die Hitze des Tages und die folgende Kälte der Nacht so nachtheilig wirkten.

3 Ehe die Gesandtschaft den Indus erreichte, schickte der Khan von Bahawul ihr 100 Kameele mit 400 Wasserschläuchen entgegen, und 4 versiegelte metallene Krüge mit Wasser aus dem Hyphasis für die Gesandten. Vergl. Ritter a. a. O. I. 790.

nen 150 F. Tiefe haben. Pottinger brachte 5 Tage zu, einen Arm derselben, welcher völlig wüst und ohne alle Vegetation war, zu durchreisen. Der Sand wird zu Dünen aufgehäuft, welche 10 bis 20 F. hoch und sehr beweglich sind[1]. Die trockne Atmosphäre füllte sich zur Mittagszeit mit dem Sande so an, daſs die Oberfläche der Wüste sich Viertelstunden wett 6 bis 12 Zoll über die Sandwellen zu erheben schien, und überall einen dicken Sandnebel verbreitete, indem Sandsäulen von 30 ja bis 60 F. Durchmesser empor gehoben wurden[2].

9. In Sibirien liegen verschiedene ausgedehnte *Steppen* zwischen dem Irtisch und Oby, z. B. die von *Baraba*. Es befinden sich viele salzige Seen darin, als der Tchabacly, Tchany, Karosoesk und Topolnoy, welche selbst in historischen Zeiten noch zu einem gemeinschaftlichen Meere oder groſsen Binnensee gehört zu haben scheinen[3].

10. *Africa* hat, mit Ausnahme des gebirgigten Theiles, einen vorherrschenden Charakter, nämlich den der *Sandebenen*, welche nur da nicht existiren, wo Quellen, Bäche oder Flüsse sind, indem diese ihre Umgebungen tränken, und dann vermittelst der groſsen Wärme die üppigste Vegetation erzeugen. Die ungeheure Wassermenge der tropischen Regen kann zwar nicht augenblicklich in den tiefen Sand dringen, sammelt sich daher in den Niederungen, bildet Binnenseen und sogar schiffbare Ströme, allein die nachfolgende Hitze zerstört meistens die Vegetation gänzlich wieder, und es bleibt ein unfruchtbarer Sandboden. Wo indeſs das nahe oder entfernte atmosphärische Wasser in die Unterlage des festen Gesteines, namentlich der Urgebirgsarten nicht eindringen kann, und somit an die Oberfläche quillt, entstehen mitten in öden Sandebenen die sogenannten *Oasen*, d. h. mit Bäumen bewachsene und die üppigste Vegetation darbietende gröſsere oder kleinere Districte, welche um so wundersamer erscheinen, je gröſseren Contrast ihr frisches Leben mit der umgebenden Oede bildet. Eine solche ist die aus uralten Zeiten berühmte des Jupiter Ammon. Indem es hier-

---

1 Die Kameele der Caravanen sind gewöhnt, diese Hügel mühsam hinanzusteigen, und dann mit dem herabrollenden Sande herabzugleiten.

2 Ritter a. a. O. Vergl. II. 16.

3 Klaproth in Mag. encyclop. 1817. p. 134.

nach eine grofse Menge Sandebenen in diesem Welttheile geben mufs, so mag hier doch nur eine derselben, die gröfste und furchtbarste von allen, kurz beschrieben werden.

Die furchtbare *Sahara* nimmt in ihrer gröfsten Breite den ganzen Strich zwischen 15° und 30° N. B. ein, ist also über 200 d. Meilen breit und noch ungleich länger, und wird, wie die Gobi in zwei Theile getheilt, nämlich die östliche und die westliche. An ihrer östlichen Seite, aber ohne eine eigentliche, beide trennende Grenze, liegt die *Lybische Wüste*, ein weites Sandmeer an der Grenze Aegyptens, welches von einigen nackten Gebirgszügen durchschnitten ist, zugleich aber einige Oasen enthält, in denen die Caravanen mit Sicherheit Nahrung und Wasser finden. Sie wird durch zwei Caravanenstrafsen, welche beide von Cairo ausgehen, und unfern der Natronseen in die Wüste eintreten, durchschnitten, die eine nach Dar-Fur, auf welcher Brown reisete, die andere, welche wir durch Hornemann genauer kennen, nach Murzuk in Fezzan. Auf der ersteren sind zwar mehrere Oasen und Wasserplätze, allein die Beschwerlichkeiten der Reise und die Ausdehnung der Sandwüste geht dennoch daraus hervor, dafs die westlich gehende Caravanenstrafse vom Nil bis nach Wara in Bergu am südlichen Rande der Wüste 9 Tage und nachher noch 16 Tage durch ein wasserleeres Sandmeer geht. Auf der zweiten, am Nordrande der Lybischen Wüste hinlaufenden Caravanenstrafse trifft man zuerst die unbewohnten Wasserstellen bei Mogarrah und dann die Oase des Jupiter Ammon, das gröfstentheils aus den Steinen jenes Tempels erbauete heutige Siwah, demnächst Augila, setzt über den Gebirgszug Marai oder Ziltan und die damit zusammenhängende schwarze und weifse Harusch, nackte, aus dem Sande hervorragende Felsrücken, welche den Südrand der Wüste Barca und der Wüste von Sort begrenzen. Das erste Hauptziel, wohin die Caravanen nach höchst beschwerlichen Reisen durch die Wüste gelangen, ist die Oase Fezzan. Der östliche Punct derselben, Temissa, liegt 16 Tagereisen, oder nach Hornemann 79 Meilen von Augila, der ganze Abstand von Cairo bis Fezzan beträgt 166 Meilen, Fezzan selbst liegt etwa 58 Meilen von der Seeküste, wovon es durch eine völlig öde Wüste getrennt ist, die starken Handel treibende Hauptstadt der Oase ist Murzuk.

Die Oase Fezzan ist rundum von felsigen Bergen umge-

ben, und grenzt nur an der westlichen Seite an den eigentlichen Sandocean, die westliche große Wüste *Sahara*, den ödesten und menschenleersten Strich der ganzen Erde, welcher dieser gleichsam nicht mehr anzugehören scheint. Sie grenzt östlich an die Oase Fezzan, von wo aus die Caravanenstraſse südlich bis nach Kaschna am Nigerstrome geht, und läuft dann westlich zwischen den Steppen Nigritien's und Bilidulgerid's bis zum atlantischen Oceane. Sogar in das Meer scheint sie sich weithin als Sandbank zu erstrecken, auf dem Continente aber dehnt sie südlich ihr Gebiet bis über die Ufer des unteren Senegal aus, und an ihrer Nordwestecke hat sie seit den Zeiten des Polybius schon den Drahfluſs zugedeckt und ihr Gebiet ansehnlich erweitert. Ueberhaupt muſs allmälig das Gebiet des Flugsandes nach W. und SW. stets mehr um sich greifen. Ströme, die vom Atlas kommen, verlieren sich im Sandmeere als salzige Lachen, erzeugen in der Hitze eine unausstehliche Wurmbrut, und verbreiten durch Fäulniſs einen unausstehlichen Gestank. Selbst die gröſsten Flüsse werden durch den Flugsand gezwungen ihr gewohntes Bette zu verlassen, wie z. B. der ehemals reiſsende Fluſs bei Tessowa in Fezzan und viele andere beweisen, welche oft ihren Lauf änderten und zuletzt ganz zugedeckt wurden. Im Westen besteht die Küste in einer Ausdehnung von wenigstens 150 Meilen, von Mogadore bis zum weiſsen Vorgebirge aus groſsen Dünen. Der Sand wird durch die Winde seewärts getrieben, und erfüllt das Meer wie die Luft mit feinen sandigen Theilen. Die Araber gehen von der Küste aus eine halbe Stunde weit in das Meer nach gestrandeten Gütern, ohne daſs ihnen das Wasser höher als bis an die Hüften reicht. Die Stelle ist für die Schiffe so viel gefährlicher, weil der in der Luft nebelartig schwebende Sand die Gefahr verbirgt. Die Küste schreitet jährlich um 10 bis 12 F. vorwärts, und an vielen Orten bleibt bloſs der gröbere Kiessand, während der feinere fortgeführt wird, oder es wird aus der *Sahel* die *Sahara*.

Die in der östlichen Wüste vorhandenen Felsenzüge und fruchtbaren Oasen fehlen in der westlichen fast ganz, denn einige kleine Oasen sind kaum so zu nennen, auch werden die Wasserstellen bald verschüttet. Mehrere Heere und Caravanen haben darin ihren Untergang gefunden, am bekanntesten ist in dieser Hinsicht das Heer des Cambyses und eine im Jahre 1805 umgekommene Caravane von 2000 Menschen. Der Wind ist

meistens nordöstlich, und in der trocknen Jahreszeit am furchtbarsten; die Regenzeit vom August bis September ist nur kurzdauernd. Wegen des tiefen Sandes ist in der westlichen Wüste gar kein springendes Wasser, und kann nur mit grofser Mühe in bedeutender Tiefe gefunden werden. Man mauert die Brunnen bei gänzlichem Mangel an Steinen mit Kameelknochen aus, bedeckt sie mit Kameelhäuten, und so finden die Caravanenführer sie in der Regel wieder, wenn sie auch lanzenhoch mit Sand überschüttet sind. Dafs Caravanen die westliche Wüste fast in ihrer gröfsten Breite von Sijilmessa nach Tombuktu hin durchschneiden, erscheint grausenerregend, wenn man nur auf einer Charte den furchtbaren Sandocean anblickt. Einige gegrabene Brunnen, z. B. zu Haher, Araoan, Taffilalet u. s. w. gewähren das einzige Labsal, aber der Tod drohet den Caravanen, wenn sie die Brunnen nicht zu rechter Zeit finden oder noch schlimmer, wenn sie bei ihrer Ankunft vertrocknet sind, wie Letzteres bei Taffilalet der Fall war, als im Jahre 1805 die grofse Caravane von 2000 Menschen und 1800 Kameelen dort umkam. Die Caravanen haben daher Führer (*Chabri's*, Weise) welche die Strafsen kennen und sich nach einzelnen Felsen, den herrschenden Winden und dem Polarsterne richten; aber dennoch berichtet Browne, dafs selbst bei der Dar-Fur Caravane oft Kundschafter ausgesandt wurden, um die Gegenden zu erforschen.

Unter die grofsen Beschwerden einer Reise in jenen Wüsten gehören aufser den allgemeinen Entbehrungen noch die Sandwinde und Sandsäulen. Ein stets brennend heifser Wind trocknet die Wasserschläuche aus, und ein Trunk wird zuweilen mit 10 bis 500 Dollars bezahlt. Selbst die Kameele sterben zuweilen vor Durst und Ermattung, wie die vielen zerstreuten Knochen derselben zeigen, denn viel seltener werden sie ihres Fleisches und Wassers wegen geschlachtet. Vögel wagen sich nur bis auf gewisse Weiten in das Sandmeer, und sind daher den Caravanen frohe Boten der nahen Rettung; zuweilen aber werden sie von Stürmen fortgerissen und kommen um. An Wasserstellen findet man Elephanten und Eber, die sich dorthin ziehen, am weitesten dringen Löwen und Panther in die Wüste, einen bleibenden Aufenthalt haben dort blofs Antilopen und Straufse. An einigen Stellen wachsen Disteln, zuweilen Mimosen und dürres Strauchwerk, Wegeszeichen für die

Caravanen und oft wochenlang Futter für Kameele und Esel. Alle gröfseren Gesträuche müssen dem Flugsande weichen, und werden auf allen Fall durch die Aequinoctialstürme vertilgt[1].

11. In *America* sind am häufigsten die mit verschiedenen örtlichen Namen bezeichneten *Llanos*, z. B. die von Varinas, von Caraccas u. a., nur etwa 40 bis 50 Toisen über der Meeresfläche erhabene Ebenen, welche keine Binnenseen haben, wie Gobi, sondern das gesammelte Wasser dem Orenoco zusenden. Der Fall der hierdurch gebildeten Flüsse ist so geringe, dafs namentlich der Arauca beim Anschwellen jenes Stromes zuweilen rückwärts fliefst. Den Namen Llanos verdienen sie sehr, denn sie haben gar keine Erhebungen, selbst in einer Ausdehnung von 15 Quadratmeilen oft nicht einen Fufs hoch. Sie gleichen daher so sehr der Meeresfläche, dafs v. Humboldt sagt, man finde sich geneigt Sonnenhöhen mit dem Sextanten zu nehmen, wenn die Nebel es nicht hinderten. In ihnen befinden sich die sogenannten *bancos*, wirkliche Klippen, gebrochene Sand- oder Kalksteinlager im Becken der Ebenen, 4 bis 5 F. emporragend, gegen 1 bis 2 Meilen lang, völlig waagerecht und parallel laufend mit der Oberfläche der Ebenen, und so in dieselben eingesenkt, dafs man blofs ihre Ränder finden kann. Aufserdem findet man schwache, sehr allmälig erhobene Wölbungen, welche blofs durch Nivellement aufzufinden sind, indem sie auf weite Strecken nur bis zu etlichen Toisen anwachsen. Sie werden *Mesas* genannt, als Mesas de Amana, de Guanipa, de Jonoro u. s. w. Ihrer geringen Höhe ungeachtet bilden sie die Wasserscheiden, und werden daher auf manchen Charten unrichtig wie Bergzüge bezeichnet. Man berechnet ihre Ausdehnung auf 8000 Quad. Meilen[2].

12. Die *Pampas* von Buenos-Aires und von Chaco bieten dem Reisenden während 20 bis 30 Tagen nichts als des Oceans ebene Fläche dar. Zur Regenzeit sind sie, wie die Llanos, mit üppigem Grün bekleidet, werden aber zunehmend dürrer, je länger die Trocknifs dauert, die Pflanzen zerfallen dann in Staub, die Erde bekommt weite Spalten, und Krokodile

---

1 So viel mag aus einer grofsen Menge Thatsachen hier genügen, um eine Beziehung bei der Erklärung verschiedener physikalischer Phänomene zu gestatten. Ausführlich ist Ritter a. a. O. I. 353.

2 v. Humboldt Reis. III. 255.

nebst grofsen Schlangen bleiben im vertrockneten Schlamme liegen; jedoch bleiben die Stellen, wo Flüsse oder Quellen sind, stets grün, auch erhalten sich dort selbst in der gröfsten Trocknifs Büsche einer Palmart, der Mauritia. Uebrigens sind sie leer von Bäumen, und der Aufenthalt verwilderter Ochsen und Pferde. Die Ausdehnung der ganzen Fläche ist ohngefähr so grofs als der Llanos, aber sie verlängern sich südlich noch um 18 Breitengrade, so dafs sie von der Region der Palmbäume sich in die des ewigen Eises erstrecken.

13. Eine dritte grofse, jedoch minder auffallende Ebene bieten die *Bosques* oder *Selvas* des Amazonenstromes, welche gröfser als die des Madeira und Rio negro sind. Die ganze, auch einige Berge in sich begreifende Waldregion des Amazonenstromes dehnt sich von 17° S. B. bis 7° oder 8° N. B. aus, begreift 60000 Quadratmeilen, und ist also ohngefähr sechsmal so grofs als Frankreich. Die Europäer kennen blofs die Ufer einiger sie durchziehender Flüsse [1].

14. In Osten und Westen des Felsengebirges von Neumexico befinden sich mehrere nicht unbedeutende Ebenen, welche mit Pflanzen, meistens aus den Chenopodienfamilien, bedeckt sind.

15. Ganz pflanzenleere, mit Kiessand bedeckte Wüsten, wie die Sahara, giebt es in gröfserer Ausdehnung in America nicht. Blofs in dem tieferen Theile von Peru, zwischen Ametope und Coquimbo, an den Gestaden der Südsee, fand v. Humboldt kleine Strecken dieser Art. Die Spanier nennen sie nicht Llanos, sondern *Desiertos*, wie z. B. die von Sechura und von Atacamez. Die Wüste ist nicht breit, aber etwa 200 Meilen lang. Der Felsengrund liegt unter dem Sande, nie fällt Regen, und wie die Sahara nach Tombuktu zu, so bietet auch diese Wüste nach Huaura hin eine reiche Steinsalzgrube dar. Dieser ähnlich sind die *Campos dos Parecis*, eine ausgedehnte Sandwüste in Brasilien, worin die Flüsse Tapaios, Paraguai und Madeira entspringen. Sie dehnt sich über die höchsten Gebirgsrücken aus, ermangelt beinahe alles Pflanzenwuchses, und erinnert an die Gobi in Asien.

Eine eigene Classe von Ebenen endlich bilden die zwischen hervorragenden hohen Bergspitzen oder auf dem Rücken

1 v. Humboldt a. a. O. III. 262.

der Bergketten ausgebreiteten *Bergebenen* (Plateaux), aus denen im ersteren Falle die Bergspitzen emporgestiegen zu seyn scheinen, oder auf denen man sich oft unerwartet wie in einer niedrigen Ebene befindet, wenn man durch lange Thäler zwischen Felsenklippen emporgestiegen ist, und auf eine Bergspitze zu kommen erwartet. Man findet sie nicht selten. Unter die bedeutendsten gehört eine ausgedehnte in Habesch[1], die grofse Asiatische der östlichen Gobi, deren Höhe zwar nicht genau bestimmt, aber gewifs sehr bedeutend ist, wie schon aus der Höhe der umgebenden Berge, des Altai, Imaus u. a. folgt, insbesondere die bekannte ausgezeichnete Bergebene von Quito, worauf Sta. Fe de Bogota in einer Höhe von 8160 F. und Antisana in 12600 F. liegt, ferner die zwar minder hohe, aber sehr ausgedehnte von Mexico, welche sich im Ganzen von 18° bis gegen 40° N. B. erstreckt und mehrere hohe Berggruppen enthält. Mehrere andere in allen Welttheilen können hier nicht einzeln namhaft gemacht werden.

D. Gewässer der Erde.

Zur physischen Geographie gehört hauptsächlich noch die Untersuchung des Wassergehaltes der Erde. Hierbei kommen in Betrachtung zuerst die fliefsenden Gewässer, als Quellen, Bäche, Flüsse und Ströme, dann die stillstehenden, als Lachen, Sümpfe, Teiche und Seen, endlich die sich hier anschliefsenden Meere von den kleineren eingeschlossenen bis zu den grofsen Oceanen. Von den hauptsächlichen Merkwürdigkeiten der hier im Allgemeinen genannten Gegenstände wird an seinem Orte besonders gehandelt werden[2].

VIII. Ursprung und Veränderungen der Erde und ihrer Oberfläche.

Dieser sehr weitläuftige Theil derjenigen Untersuchungen, welche man rücksichtlich der Entstehung und Veränderung unseres Erdballes angestellt hat, wird gröfstentheils oder vielmehr ganz zu einer eigenen wissenschaftlichen Disciplin, der *Geologie* gerechnet. Es gehört dabei allerdings in das Gebiet der Physik, genau zu prüfen, ob und wie weit die bekannten Naturkräfte

1 S. Lobo Reis. I. 145.

2 S. die hier genannten Artikel *Bäche*, S. *Fluſs*.

hinreichen, um aus ihnen sowohl die anfängliche Entstehung der Erde abzuleiten, als auch diejenigen allmäligen Veränderungen zu erklären, welche anzunehmen entschiedene Thatsachen berechtigen. Weil aber hierbei gar viele Hypothesen erwähnt werden müssen, das Ganze zugleich eine weitläuftigere Untersuchung erfordert, als hier schicklich Platz finden könnte, so verspare ich dasselbe für den Artikel *Geologie*. *M.*

Erdferne.

Apogaeum; (Von ἀπὸ und γῆ die Erde); *Apogée*; **Apogee, the higher apsis**; ist der Punct, wo der *Mond* von der Erde am entferntesten ist. Man gebraucht das Wort jetzt nur noch in Beziehung auf den Mond, da er allein als eine elliptische Bahn um die Erde beschreibend anzusehen ist, in welcher er am einen Ende der Axe sich in der Erdferne, dem entferntesten Puncte der Apsidenlinie, befindet.

Bei dieser Erdferne ist sein scheinbarer Durchmesser nur 28′ 56″, statt daſs er in der Erdnähe 33′ 51″ erscheinen kann. (Nämlich der geocentrische scheinbare Durchmesser, der von dem, nach der Stellung über dem Horizonte veränderlichen scheinbaren Durchmesser, so wie wir ihn sehn, etwas verschieden ist). Die Parallaxe des Mondes ist bei seiner Erdferne 53′, bei seiner Erdnähe 62′.

Auch der *Sonne* kann man allerdings eine Erdferne zuschreiben, da aber die Erde es ist, welche sich bewegt, so sagen wir richtiger, die Erde befinde sich in der Sonnenferne.

Die *Planeten* erreichen auch eine gröſste Entfernung und eine kleinste Entfernung von der Erde, indem sie sich in ihren Bahnen um die Sonne bewegen. Die untern Planeten, Venus und Mercur, sind von der Erde am entferntesten, und erscheinen daher am kleinsten, wenn sie in ihrer obern Conjunction jenseits der Sonne, ungefähr hinter dieser vorbei gehn; sie sind der Erde am nächsten und erscheinen (so lange der Glanz der Sonne und das Abnehmen der erleuchteten Phase erlaubt, sie zu sehen) am gröſsesten in der untern Conjunction, da sie zwischen uns und der Sonne entweder vor dieser genau vorbei oder oberhalb oder unterhalb derselben hin gehen.

Die obern Planeten sind in der Erdferne, wenn sie in ihrer Bahn sich jenseits der Sonne, mit ihr in Conjunction be-

finden, daher dann auch vorzüglich der Mars sich auffallend klein zeigt. Sie sind in der Erdnähe, wenn sie in Opposition mit der Sonne gerade um Mitternacht im Meridian erscheinen. Am Mars ist es am auffallendsten, dafs er dann sehr grofs erscheint, weil er bei seiner Erdferne fast 4 mal so entfernt, als bei seiner Erdnähe ist. *B.*

Erdkugel

Erdglobus ist eine Kugel mit einer bildlichen Darstellung sowohl der mathematischen Eintheilung unseres Erdballes, als auch seiner Oberfläche rücksichtlich der Vertheilung von Land und Wasser, zuweilen auch der Erhabenheiten und Vertiefungen der Erde, und noch öfterer der politischen Eintheilung der Länder. Inzwischen gehört die Aufgabe, die Eintheilungen der Erdoberfläche auf einer Kugel zu zeichnen, zur praktischen Geometrie, das Technische der Verfertigung solcher Globen aber zur Technologie, und kann daher hier überall nicht abgehandelt werden. *M.*

Erdnähe.

Perigaeum; Perigée; *Perigee*, ist die gröfste Annäherung zur Erde, also das Gegentheil der Erdferne, und so kann sie aus dem, was über diese leztere gesagt ist, leicht erklärt werden. *B.*

Erdpole. S. *Erde.*

Erdstreiche, *Erdgürtel*, *Erdzonen.* S. *Erde.*

Erfahrung.

Experientia; Expérience; *Experience.* Dafs wir zu den Erfahrungen, welche in der Physik die Grundlage der auf sie gebaueten Naturgesetze bilden, durch Beobachtungen und Versuche gelangen, ist oben unter dem Artikel *Beobachtung* Th. 1. S. 884 gesagt, und ebendaselbst zugleich gezeigt, auf welche Weise der Physiker die beiden angegebenen Mittel benutzt, um durch dieselben zu den ihm unentbehrlichen Erfahrungen zu gelangen. Inwiefern aber das Sammeln, Prüfen und Behalten der Erfahrungen eine Thätigkeit der Seele erfordert und mit dem Psychischen zusammenhängt, diese Untersuchung gehört theils zur Logik, theils zur Psychologie, und mufs daher diesen wissenschaftlichen Zweigen überlassen bleiben.

M.

Eriometer.

(von ἔριον Wolle und μέτρον das Maſs) ein Werkzeug, die Feinheit der Wolle und aller andern feinen Substanzen zu messen. Thomas Young hat dasselbe angegeben [1], allein es ist gleich anfängs und auch späterhin wenig beachtat, obwohl insbesondere bei der vorherrschenden atomistischen Ansicht leicht mehrfacher Gebrauch davon gemacht werden könnte. Dieser Gelehrte wollte nämlich untersuchen, ob man die viel besprochenen Kügelchen im Blute, Speichel, Eiter u. s. w. wahrnehmen könne, und fand die beste Methode hierzu darin, daſs er Tropfen der Flüssigkeiten, mit Wasser verdünnt und an einem Theelöffel hängend, im dunkeln Zimmer gegen helles Kerzenlicht hielt, indem sich dann zunächst um das dunkele Kügelchen ein erhelltes Feld, und um dieses farbige Ringe bildeten, ein rother, dann ein grüner u. s. w. eine aus der Beugung des Lichtes leicht erklärliche Erscheinung. Zugleich entging ihm die Bemerkung nicht, daſs diese Ringe jederzeit so viel gröſser waren, je weniger die betrachteten Körper im Durchmesser hielten, und es bedurfte daher nur eines Mittels, die Gröſse der Ringe zu messen, und ihren Normalwerth nach einer bekannten Gröſse festzusetzen, um hierdurch wieder das Maſs für andere Körper zu erhalten. Letzteres erreichte er am besten dadurch, wenn er die beobachteten Farbenringe, wozu sich namentlich der erste grüne am besten eignet, auf einen in bestimmter und stets gleichbleibender Entfernung befindlichen dunkeln Grund projicirte, und ihre Durchmesser vermittelst einer Scale maſs, welche in sehr kleinen, in dem dunkelen Bleche gemachten Löchelchen bestand, auf welches die Farbenringe projicirt wurden. Das Instrument besteht demnach aus einem Messingblech mit zwei Löchelchen für die verschiedenen Messungen, das eine von $\frac{1}{50}$, das andere von $\frac{1}{50}$ Z. Durchmesser, jenes mit einem Kreise von 8 bis 10 der feinsten Puncte, in einem Halbmesser von $\frac{1}{2}$ Z., dieses mit einer gleichen Anzahl im Halbmesser von $\frac{1}{3}$ Z. umgeben, und jedes mit der erforderlichen Scale versehen. Vor dieses Blech werden faserige Körper an einem Schieber ausge-

1 Remarks on the Measurement of minute Particles, especially those of the blood and of Pus. From Dr. Young's Medical Literature. Lond. 1813. 8. p. 545. Vergl. Ann. of Phil. II. 115. Bibl. Brit. LV. 167.

spannt gebracht, Pulver und Flüssigkeiten aber zwischen zwei feinen und sehr durchsichtigen Gläsern, so daſs man sie in die Mitte des runden Loches bringen, vermittelst einer starken argandschen Lampe oder mehrerer hinter einander stehender Lichter betrachten, und die entstehenden Ringe auf die Scale des Bleches projiciren kann. Personen, welche nicht kurzsichtig sind, müssen sich dabei meistens einer Linse bedienen, auch kann man das Sonnenlicht anwenden, wenn man das *Eriometer* vor einem Fernrohre befestigt. Durch vergleichende Messungen fand Young, daſs ein Grad der Scale seines Instrumentes $\frac{1}{30000}$ eines Zolles bestimmte, und er stellte hiernach eine Menge Messungen der verschiedensten Substanzen an, wodurch er unter andern die Milchtheilchen = 3°, die Blutkügelchen = 6°—7°, Eiter 7°,5 seiner Scale fand. *M.*

Erkaltung.

Das Erkalten, Abkühlung; *Refrigeratio*; Refroidissement; *Cooling;* bezeichnet denjenigen Naturproceſs, wonach die Wärme diejenigen Körper, an welche sie in verschiedenem Verhältnisse der gröſseren oder geringeren Intensität gebunden ist, nach gewissen bestimmten Gesetzen verläſst. Die letzteren werden aus der Natur derjenigen eigenthümlichen Potenz, welche wir Wärme nennen, mit Rücksicht auf das Wesen und die äuſsere Beschaffenheit der verschiedenen Körper entwickelt. Weil aber diese Gesetze mit den Bestimmungen des Wesens der Wärme und anderweitigen ähnlichen Erscheinungen innig zusammenhängen, so lassen sie sich hiervon nicht füglich trennen, und werden daher am besten unter dem Artikel *Wärme* abgehandelt. *M.*

Erleuchtung.

Illuminatio; Illumination; *Illumination.* *Erleuchtet* nennen wir diejenigen Gegenstände, die ihr Licht von andern, Licht aussendenden, Körpern empfangen, und dieser Erleuchtung durch fremdes Licht schreiben wir eine verschiedene Intensität zu, die sich nach gewissen Regeln bestimmen läſst. Das Auge ist nicht so geradehin ein sicherer Richter über den Grad der Erleuchtung, theils schon deshalb weil wegen der ungleichen, bald gröſsern bald geringern, Oeffnung der Pupille der

Eindruck, welchen einerlei Licht auf unser Auge macht, ungleich ist, theils und vorzüglich, weil das Auge nur den gesammten Glanz, allenfalls beurtheilt, und auch da doch nur über Gleichheit und Ungleichheit, nicht aber über ein Mafs der Ungleichheit, ob der gesammte Glanz doppelt so grofs sey, u. s. w. zu urtheilen vermag. Um hier die Bedeutung der Worte strenge festzusetzen, will ich, nach LAMBERT's Anleitung, folgende Unterscheidungen bemerken[1].

1. Wir legen jedem leuchtenden Körper eine Helligkeit (claritas) bei, die wir die *erleuchtende Kraft* (*vis illuminans*), *den Glanz* (*splendor*) desselben nennen, und unterscheiden davon die durch jenen leuchtenden Körper den Gegenständen mitgetheilte Helligkeit, die nun eben Erleuchtung (*illuminatio*) heifst. Jener Glanz des Körpers kann bei bestimmter gleichbleibender wahrer und scheinbarer Gröfse sehr ungleich, also die *Intensität des Lichtes* bei leuchtenden Körpern verschieden seyn. Hiernach ist auch die Helligkeit, so fern sie dem Auge erscheint *(claritas visa)*, verschieden, und diese hängt nicht von dem gesammten Eindrucke ab, den der Glanz des Lichtes auf unser Auge macht, sondern von der Lichtstärke jedes Punctes; daher sagen wir, dafs die eigentliche dem Auge sich darstellende Helligkeit (*claritas visa*) eines Gegenstandes mit der Entfernung nur dann abnimmt, wenn das Licht in der Luft oder in den Medien, die es durchläuft, eine Schwächung leidet, und dafs sie ungeändert bliebe, wenn wir darauf nicht Rücksicht nehmen; dagegen ist der gesammte Glanz eines entfernten Lichtes geringer als des nähern, und auch die Erleuchtung, welche es hervorbringt, ist geringer. Jeder einzelne Punct der Sonne würde uns eben so hellglänzend erscheinen, wenn sie auch doppelt so weit hinausgerückt würde; aber da sie dann nur einen halb so grofsen scheinbaren Durchmesser hätte, so würde die durch sie bewirkte Erleuchtung sehr geschwächt seyn.

2. Die Erleuchtung, welche eine dem Lichte ausgesetzte Ebene empfängt, hängt offenbar ab theils von der eigenthümlichen Lichtstärke des erleuchtenden Lichtes, theils von der Entfernung desselben, theils von der Neigung der erleuchteten Ebene gegen die Lichtstrahlen; und da die aus diesen drei Um-

---

1 J. H. LAMBERT Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Aug. Vindel. 1760. §. 36. sq.

ständen hervorgehenden Verschiedenheiten sich nach theoretischen Gründen voraussehen lassen, so ergeben sich Vergleichungen, die zu weiteren Schlüssen führen. Obgleich wir nämlich nicht in allen Fällen so sicher bestimmen können, ob zwei erleuchtete Flächen eine gleiche Erleuchtung genieſsen, so beurtheilt doch das Auge die Gleichheit oder Ungleichheit der Erleuchtung dann leicht, wenn zwei erleuchtete Ebenen genau von gleicher Beschaffenheit und neben einander gestellt vor unserem Auge liegen; und da wir mit allem Rechte annehmen dürfen, daſs zwei gleiche Lichter, nahe zusammen aufgestellt, eine doppelt so groſse Erleuchtung bewirken, und eben so bei mehrern die Erleuchtung im Verhältnisse ihrer Zahl wachse, so bietet sich darin ein Mittel zu mehrern Vergleichungen dar.

3. Wir dürfen mit Grunde vermuthen, daſs einerlei Licht, derselbe leuchtende Körper, in der halben Entfernung eine viermal so starke Erleuchtung als in der ganzen Entfernung bewirkt, oder daſs die Erleuchtung unter sonst gleichen Umständen den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional sey. Denn wenn man den leuchtenden Punct als Mittelpunct einer Kugel ansieht, so wird ja alles von ihm ausgehende Licht verwendet, um die innere Kugeloberfläche zu erleuchten; da nun diese dem Quadrate des Halbmessers proportional ist, und es immer dieselben Lichtstrahlen sind, die in gröſserer Entfernung die gröſsere, in geringerer Entfernung die kleinere Kugeloberfläche erleuchten, so scheint es theoretisch gewiſs, daſs die Erleuchtung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional seyn muſs.

Aber auch Versuche bestätigen dieses Gesetz. Man stelle einer weiſsen Wand CEB gegenüber ein Licht in K, und zwei eben so hell leuchtende in A nahe bei einander auf. (Fig. 186.) Ein undurchsichtiger Schirm HI sey zugleich so aufgestellt, daſs sein durch das Licht K hervorgebrachter Schatten von der Linie DF, und sein durch die vereinigten Lichter A hervorgebrachter Schatten durch eben diese Linie begrenzt werde; daſs also der Raum zunächst an DF gegen C zu nur von dem einen Lichte, und der Raum zunächst an DF gegen B zu nur von den zwei Lichtern erleuchtet werde. Wenn alles so geordnet ist, so erkennt das Auge leicht, ob die Erleuchtung der Fläche EB, nahe an der Linie DF, an beiden Seiten gleich oder ungleich ist, und man kann, indem man das Licht K auf der Linie KH näher heran rückt oder mehr entfernt, es so einrichten, daſs diese

Gleichheit der Erleuchtung statt findet. Stehen nun die Lichter K und A zu gleicher Zeit so, daſs sie die Gegend um DF beinahe genau mit senkrecht auffallenden Strahlen erleuchten, und ist die Wand ganz gleichförmig weiſs, so kann man schlieſsen, daſs die als gleich erscheinende Erleuchtung, die an der einen Seite von einem Lichte, an der andern Seite von zwei Lichtern bewirkt wird, ein richtiges Maſs für die mit gröſserer Entfernung abnehmende Erleuchtung gebe. Hier zeigt sich nun wirklich, daſs die Abstände $DA : DK = \sqrt{2} : 1$, seyn müssen, oder allgemein, daſs die Anzahl der Lichter in A zur Anzahl der Lichter in K sich verhält wie die Quadrate der Entfernungen derselben von der erleuchteten Fläche.

4. Ebenso scheint ein anderes Gesetz für die Erleuchtung sich aus theoretischen Gründen herleiten zu lassen. Wenn Lichtstrahlen, die alle mit AB, CD parallel einfallen und den ganzen Raum zwischen AB, CD erfüllen, die Ebene BD erleuchten, so vertheilt sich hier die Erleuchtung auf eine gröſsere Fläche, als wenn eben die Strahlen von der gegen ihre Richtung senkrechten Ebene DE aufgefangen würden; es muſs also ohne Zweifel der Grad der Erleuchtung gröſser für DE als für DB seyn, und die Grade der Erleuchtung müssen sich, darf man wohl schlieſsen, umgekehrt wie die Flächen verhalten, das ist, der Grad der Erleuchtung muſs dem Sinus des Winkels ABD, den die Strahlen mit der Ebene machen, proportional seyn. Die Erfahrung bestätiget auch dieses Gesetz. Stellt man nämlich in C ein Licht auf, welches in A die Wand mit senkrecht auffallenden Strahlen erleuchtet, und in D ein Licht, welches ganz nahe bei A in B, mit schief auffallenden Strahlen, die Wand erleuchtet, so findet man, daſs $\left(\frac{1}{AC^2}\right) = \frac{\text{Sin.}\,DBG}{BD^2}$ seyn muſs, oder $AC^2 : BD^2 = 1 : \text{Sin.}\,DBG$. Man hätte auch in C ein Licht und in D mehrere Lichter, n an der Zahl, stellen können, dann würde sich finden, daſs $\frac{1.\ \text{Sin. tot.}}{AC^2} = \frac{n.\ \text{Sin.}\,DBG}{BD^2}$ seyn müsse.

Fig. 187.

Fig. 188.

5. Wir haben gewöhnlich nicht den Fall zu betrachten, wo von einem einzigen leuchtenden Puncte Licht ausgeht, sondern es ist eine leuchtende Oberfläche, welche die Erleuchtung einer gewissen Fläche bewirkt; es entsteht daher die Frage, wie die Erleuchtung von der Lage der leuchtenden Fläche oder von dem

Aussendungswinkel (*angulus emanationis, angulus emissionis*) abhängt. Eine einfache Erfahrung beantwortet diese Frage sehr gut[1]. Wenn wir eine weiſse, von der Sonne erleuchtete Ebene ansehen, so erscheint uns diese bei jeder willkürlich gewählten Stellung des Auges gleich weiſs oder mit einem gleichen Grade von Helligkeit, vorausgesetzt, daſs wir kein durch eigentliche Reflexion, wie vom Spiegel, zurückgeworfenes Licht empfangen. Bleibt nun das Auge gleich weit entfernt, so erscheint in C der kleinere Theil AD der Wand, in E der gröſsere Theil AB unter gleichem Sehewinkel, und da der Eindruck auf das Auge in beiden Fällen gleich bleibt, so dürfen wir schlieſsen, daſs auch die erleuchtende Kraft des Theiles AB für den Punct E eben so groſs sey, als die erleuchtende Kraft des Theiles AD es für C ist. Sind nun AE = AC und AEB = ACD, so ist

Fig. 189.

$AB = \frac{AE. \text{Sin. } AEB}{\text{Sin. } ABE} = \frac{AD. \text{Sin. } ADC}{\text{Sin. } ABE}$; die Erfahrung zeigt also, daſs die erleuchtende Kraft gleich ist, wenn $AB. \text{Sin. } ABE = AD. \text{Sin. } ADC$, oder da wir die Menge des ausgesendeten Lichtes unter sonst gleichen Umständen der Gröſse der Fläche proportional annehmen müssen, so ergiebt sich hier, daſs diese Menge des ausgesendeten Lichtes zugleich der Gröſse der Fläche und dem Sinus des Aussendungswinkels proportional sey.

Hieraus ergiebt sich nun ferner, daſs von einer kleinen leuchtenden Ebene ABCD aus, eben die Lichtmenge auf den Punct P hin gelangt, oder daſs die Erleuchtung des Punctes P eben so groſs ist, wie sie seyn würde, wenn eine mit eben der Intensität des Lichtes ausgestattete Ebene die Pyramide PABCD anderswo, etwa wie abcd schlösse. Oder mit andern Worten, wenn man sich den erleuchteten Punct als Spitze einer Pyramide denkt, und die Licht aussendende Fläche, sie mag eben oder krumm seyn, als Grundfläche derselben, so würde jede mit derselben Intensität des Lichts begabte Fläche, wenn sie zwischen eben den Seitenwänden der Pyramide eingeschlossen wäre, dieselbe Erleuchtung auf jenen Punct hervorbringen.

Fig. 190.

Dieses führt umgekehrt zu einem Verfahren, um die Intensität des Lichtes zweier leuchtender Körper zu vergleichen. Besäſsen wir irgend ein kugelförmig gebildetes Licht von eben dem

1 Lambert §. 84.

eigenthümlichen Glanze wie die Sonne, so müſste dieses auf einen Punct, von welchem aus es 32 Minuten scheinbaren Durchmesser hätte, eben die Erleuchtung wie die Sonne selbst hervorbringen; und wenn wir also finden, daſs ein Kerzenlicht, dessen scheinbare Gröſse der scheinbaren Gröſse der Sonne gleich ist, nur eine $\frac{1}{12000}$ so starke Erleuchtung bewirkt[1] als die Sonne, so werden wir die Intensität des Sonnenlichts gleich dem 12000 fachen des Kerzenlichts setzen dürfen[2].

6. Wenn wir also die Erleuchtung bestimmen wollen, welche irgend einem kleinen Theile einer Ebene zu Theil wird, so kömmt es dabei auf die Intensität des Lichtes der leuchtenden Fläche, auf ihre scheinbare Gröſse und Gestalt und auf die Neigung an, unter welcher die Lichtstrahlen die erleuchtete Ebene treffen.

Fig. 191.

Wenn sich über der sehr kleinen Ebene A ein kreisförmig begrenzter, leuchtender Körper so befindet, daſs die von seinem Mittelpuncte B auf die Ebene A gezogene Senkrechte den Punct A trifft, so findet man die von jenem Kreise im Puncte A bewirkte Erleuchtung durch folgende Ueberlegung. Es sey des leuchtenden Kreises scheinbarer Halbmesser $BAD = \varphi$, und des kleinen bei D liegenden Theilchens scheinbare Breite $= d\varphi$, so wird, wenn man die Intensität des Lichtes $= J$ nennt, die durch D hervorgebrachte Erleuchtung in $A = d\psi \,.\, d\varphi \,.\, J \,.\, \mathrm{Cos.}\,\varphi$ seyn, weil nämlich $\mathrm{Cos.}\,\varphi$ dem Sinus des Neigungswinkels, unter welchem der Lichtstrahl die Ebene A trifft, gleich ist. Aber für den ganzen Ring, dessen scheinbarer Halbmesser $= \varphi$ ist, sind alle Umstände ganz eben so, also können wir statt der zweiten Abmessung $d\psi$ des Theilchens D, sogleich den ganzen Umfang des Ringes $= 2\pi \,.\, \mathrm{Sin.}\,\varphi$ setzen, so daſs die durch den ganzen Ring bewirkte Erleuchtung in A, $= 2\pi\, d\varphi \,.\, J \,.\, \mathrm{Sin.}\,\varphi\, \mathrm{Cos.}\,\varphi$, und folglich die durch den ganzen Kreis bewirkte Erleuchtung $= \pi \,.\, J \,.\, \mathrm{Sin.}^2\,\varphi$ ist.

Die Erleuchtung in dem Puncte A, den die vom Mittelpuncte des erleuchtenden Kreises gegen die Ebene A senkrecht gezogene Linie trifft, ist also dem Quadrate des Sinus, der dem scheinbaren Halbmesser des Kreises zugehört, proportional.

---

1 Leslie's Versuche, die sich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, übers. von Brandes S. 66.

2 Vergl. auch v. Zach Mon. Corr. VIII. 304.

Wäre $\varphi = 90°$, oder nähme von A ausgesehen, der leuchtende Kreis scheinbar die ganze Halbkugel ein, wie es geschehen würde, wenn entweder BD unendlich grofs, oder AB unendlich klein wäre, so würde die Erleuchtung in $A = \pi . J.$ seyn. Lambert nennt diesen Werth die *absolute Erleuchtung*, weil der Körper, dessen Lichtstärke $= J$ ist, bei keiner Gröfse dem Puncte A eine stärkere Erleuchtung ertheilen kann.

7. Wäre BD eine Kugel vom Halbmesser $= r$, so würde ihre von A aus gesehene scheinbare Gröfse, wenn $AB = a$ ist, durch $\varphi = \text{Ang. Sin. } \frac{r}{a}$ angegeben, da die von A aus an die Kugel gezogene Tangente $= \sqrt{(a^2 - r^2)}$ wäre. Die durch diese Kugel in A bewirkte Erleuchtung würde also $= \pi J. \text{Sin.}^2 \varphi = \frac{\pi J. r^2}{a^2}$ seyn, also dem Quadrate des wahren Halbmessers direct, und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional.

8. Wenn der kreisförmig begrenzte Körper nicht in der Stellung gegen die zu erleuchtende Ebene ist, dafs sein Mittelpunct senkrecht über dem Puncte steht, dessen Erleuchtung wir suchen, so wird die Betrachtung etwas schwieriger. Es sey IL dieser Körper und K der kleine Theil der Ebene, dessen Erleuchtung wir suchen; AEB sey der gröfste Kreis, wo die erweitert gedachte Ebene K die Kugelfläche trifft, auf welcher wir den Kreis IL gezeichnet denken; G sey dieses kleineren Kreises Mittelpunct, C des Kreises AEB Pol, $GC = a$, $MG = x =$ dem scheinbaren Halbmesser des leuchtenden Kreises; endlich sey für irgend einen Punct M dieses Kreises $CGM = y$, also $\text{Cos. } CM = \text{Cos. } a \text{ Cos. } x + \text{Sin. } a. \text{Sin. } x. \text{Cos. } y$. der Punct M, dessen scheinbare Gröfse durch $dx. \text{Sin. } x. dy$ ausgedrückt wird, weil des Kreises IL Halbmesser $= \text{Sin. } x$ ist, bringt auf der Ebne K eine Erleuchtung $= J. dx. dy. \text{Sin. } x. \text{Cos. } CM$ hervor, weil Cos. CM der Sinus des Neigungswinkels ist, unter welchem die Strahlen auf K auffallen, und diese von M ausgehende Erleuchtung $= J dx. \text{Sin. } x. (dy. \text{Cos. } a \text{ Cos. } x + dy \text{ Sin. } a \text{ Sin. } x. \text{Cos. } y)$, würde, in Beziehung auf y integrirt die von dem ganzen Ringe, dessen scheinbare Breite $= dx$ ist, bewirkte Erleuchtung angeben $= J \text{Cos. } a. y. dx \text{Sin. } x \text{ Cos. } x + J \text{Sin. } a. \text{Sin. } y. dx. \text{Sin.}^2 x$. Aber dieses Integral mufs von $y = 0$ bis $y = 2\pi$ genommen werden, und giebt dann die Erleuchtung durch den ganzen Ring

Fig. 192.

$= 2\pi$. J. Cos. a. dx. Sin. x. Cos. x. und folglich vermöge der zweiten Integration die durch den ganzen Kreis bewirkte Erleuchtung $= \pi$ J. Sin.^{2} x. Cos. a.

Für einen leuchtenden Kreis also findet die einfache Regel statt, daſs die von ihm der kleinen Ebene ertheilte Erleuchtung dem Sinus des Neigungswinkels, welchen die vom Mittelpuncte ausgehenden Strahlen mit der Ebene machen, proportional ist. Da π. Sin.^{2}x die Gröſse der scheinbaren Fläche des Kreises ausdrückt, so ist für einen leuchtenden Kreis, sobald die von dem erleuchteten Puncte auf seine Ebene gesetzte Senkrechte den Mittelpunct trifft, die Erleuchtung eben so groſs, als sie seyn würde, wenn die gesammte Lichtmenge $= \pi$ J. Sin.^{2}x von dem Mittelpuncte des Kreises ausginge. Eben das gilt also für eine leuchtende Kugel.

9. Da uns so oft der Fall vorkommt, daſs das Licht durch einen geradlinigt begrenzten Raum einfällt, so verdient die Frage, welche Erleuchtung in diesem Falle statt finde, eine nähere Betrachtung. Wir wollen den Punct, welcher die Erleuchtung empfängt, als in einer horizontalen Ebene liegend, oder als einen kleinen Theil einer horizontalen Ebene einnehmend ansehen. Denken wir uns diesen Punct als Spitze einer Pyramide, deren Grundfläche die geradlinigt begrenzte Oeffnung, das Fenster zum Beispiel, ist, so schneiden die fortgesetzten Seitenebnen der Pyramide auf der Oberfläche einer Kugel eine durch Bögen gröſster Kreise begrenzte vielseitige Figur ab, und unsere Frage kommt also darauf zurück, die durch ein sphärisches Vieleck oder zunächst durch ein sphärisches Dreieck, welches Licht aussendet, bewirkte Erleuchtung anzugeben. Am leichtesten läſst sich diese Frage beantworten, wenn zwei Seiten des sphärischen Dreiecks vertical sind, also sich im Zenith desjenigen Punctes der horizontalen Ebene schneiden, dessen Erleuchtung wir suchen. Macht dann auch die dritte Seite mit diesen beiden verticalen Seiten schiefe Winkel, so giebt es doch einen andern Verticalkreis, der sie senkrecht schneidet, und es ist daher zureichend, die von einem Verticaldreieck CMQ, das bei Q einen rechten Winkel hat, bewirkte Erleuchtung zu suchen. Fig. 193.

Wir denken uns einen zweiten gröſsten Kreis mq, demjenigen MQ, der das Dreieck begrenzt, unendlich nahe und ebenfalls bei q auf Cq senkrecht: so stellt MmqQ das Differen-

tial des leuchtenden Dreiecks CMQ vor, und wenn $CQ = y$, $QM = x$, so ist $Mm = dy. \text{Cos.}\, x$; $MmnN = dx. dy. \text{Cos.}\, x$. als zweites Differential der leuchtenden Fläche. Bekanntlich aber ist im rechtwinklichen Dreieck $\text{Cos. CM} = \text{Cos.}\, x.\ \text{Cos.}\, y$, = dem Sinus des Neigungswinkels, unter welchem die von MmnN ausgehenden Strahlen die Ebene treffen. Die von diesem Theilchen bewirkte Erleuchtung der horizontalen Ebene im Puncte K ist also $= dx.\ dy. \text{Cos.}^2 x.\ \text{Cos.}\, y$, folglich die durch den ganzen Streifen MmqQ bewirkte Erleuchtung

$= dy.\ \text{Cos.}\, y. \left\{\frac{1}{2} x + \frac{1}{4} \text{Sin.}\, 2x\right\}$. Dieses Integral bedarf zwar keiner hinzugefügten Constans, aber da x eine Function von y ist, indem bei gleich bleibendem Winkel MCQ sich beide Gröſsen zugleich ändern, so muſs man $\text{Sin.}\, y = \frac{\text{Tang.}\, x}{\text{Tang. MCQ}}$

und folglich $\frac{1}{2}\left(x + \frac{1}{2} \text{Sin.} 2x\right) d.\ \text{Sin.}\, y$

$$= \frac{\frac{1}{2}\left(x + \frac{1}{2} \text{Sin.}\, 2x\right) d.\ \text{Tang.}\, x}{\text{Tang. MCQ}}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\left(x. d.\ \text{Tang.}\, x + dx.\ \text{Tang.}\, x\right)}{\text{Tang. MCQ}}$$

setzen, woraus das Integral

$$= \frac{\frac{1}{2}\ x.\ \text{Tang.}\, x}{\text{Tang. MCQ}} = \frac{1}{2}\ x.\ \text{Sin.}\, y$$ folgt. Diese selbige Formel gilt auch noch, wenn bei Q kein rechter Winkel ist, nur muſs man dann unter y nicht die Seite CQ, sondern das von C auf die Seite MQ gefällte Perpendikel verstehen, und die durch ein Verticaldreieck bewirkte Erleuchtung ist immer gleich dem Producte aus der halben Grundlinie in den Sinus der Höhe.

10. Aus der durch ein verticales Dreieck bewirkten Erleuchtung läſst sich die jedem andern Dreieck entsprechende Erleuchtung herleiten. Es sey NFQ irgend ein sphärisches Dreieck, so ist, wenn man die Verticalkreise durch die drei Winkelpuncte zieht, die vom Dreieck NFQ bewirkte Erleuchtung der Ebene K, worauf CK senkrecht ist, gleich dem Un-

Fig. 194.

terschiede der durch CNQ + CFQ und der durch CNF bewirkten Erleuchtung. Nun ist der Sinus der Höhe des Dreiecks NQC,

$$= \text{Sin. CQ. Sin. CQN},$$

der Sinus der Höhe für das Dreieck FQC

$$= \text{Sin. CQ. Sin. CQF},$$

der Sinus der Höhe für das Dreieck FNC

$$= \text{Sin. CF. Sin. CFN},$$

also die dem Dreieck QNF entsprechende Erleuchtung

$$= \frac{1}{2}\text{ QF. Sin. CQ. Sin. CQF}$$

$$+ \frac{1}{2}\text{ QN. Sin. CQ. Sin. CQN}$$

$$- \frac{1}{2}\text{ FN. Sin. CF. Sin. CFN.}$$

Mit Hülfe dieser Formel ließe sich auch für ein sphärisches Viereck und jede andere Figur die Erleuchtung in einem bestimmten Puncte angeben.

11. Aber immer wird hier nur die Erleuchtung, die ein einziger Punct erhält, bestimmt, und man müßte die Erleuchtung eines größeren Theiles der Fläche, welche Licht empfängt, entweder dadurch suchen, daß man sie für viele einzelne Puncte berechnete, oder dadurch, daß man die Erleuchtung *eines* Punctes der Ebene als Function der Lage des Punctes ausdrückte, und durch Integration die Erleuchtung eines größeren Theiles der Fläche fände. Hätte man dieses gethan, so würde man durch Division mit der Größe der Fläche den mittleren Grad der Erleuchtung finden.

Um nur in einigen ziemlich einfachen Fällen diese Rechnung durchzuführen, sey BI eine Kugel, welche selbst leuchtend die ebene Kreisfläche FE erleuchtet. Der senkrechte Abstand AC des Kugelmittelpunctes von der erleuchteten Ebene sey $= a$, und die Senkrechte AC treffe des erleuchteten Kreises Mittelpunct; CE sey $= x$, der Kugel Halbmesser $= \varrho$, so ist von E aus gesehen, der Kugel scheinbarer Halbmesser gleich dem Winkel, dessen Sinus $= \frac{\varrho}{\sqrt{(a^2 + x^2)}}$ und folglich die Erleuchtung in $E = \frac{\pi . J . \varrho^2 .}{(a^2 + x^2)}$ Sin. AEC $= \frac{\pi J . a \varrho^2}{\sqrt{(a^2 + x^2)^3}}$.

Fig. 195.

Aber auf dem ganzen Ringe, dessen Halbmesser $=$x ist, findet dieselbe Erleuchtung statt, so dafs die gesammte Erleuchtung oder die gesammte den Ring treffende Lichtmenge

$= \frac{2\pi^2 x.dx. Ja\varrho^2}{\sqrt{(a^2+x^2)^3}}$ ist, folglich für den ganzen Kreis der Erleuchtung $= \frac{-2\pi^2 aJ.\varrho^2}{\sqrt{(a^2+x^2)}} + C$

$$= 2\pi^2 J.\varrho^2 \left(1 - \frac{a}{\sqrt{(a^2+x^2)}}\right),$$

weil das Integral mit $x=0$ verschwinden mufs. Die mittlere Intensität der Erleuchtung würde also, da des Kreises Inhalt $=\pi x^2$ ist, durch $\frac{2\pi J\varrho^2}{x^2}\left(1 - \frac{a}{\sqrt{(a^2+x^2)}}\right)$ ausgedrückt. Die gröfste Lichtmenge, welche die Ebene, wenn sie sich auch unendlich ausdehnte, erhalten könnte, wäre $=2\pi^2 J\varrho^2$, und es ist der Mühe werth zu bemerken, dafs dieser Ausdruck gleich ist der absoluten Erleuchtung, multiplicirt mit dem Inhalt der halben Kugeloberfläche, welche auch eben zur Erleuchtung beiträgt[1].

12. Ein zweiter Fall, von dem wir sogleich Gebrauch machen werden, ist folgender. Ein sehr kleiner ebener Kreis, dessen Halbmesser $=\varrho$, sende Licht aus, um eine mit seiner Ebene parallele Ebene zu erleuchten; wie grofs ist die durch ihn bewirkte Erleuchtung für einen Kreis, dessen Mittelpunct von der aus dem Mittelpuncte des leuchtenden Kreises gegen beide Ebenen herabgelassenen Senkrechten liegt? Es stelle G den leuchtenden Kreis, AB die erleuchtete Kreisebene vor. Es sey GC$=$a, CA$=$x der Halbmesser des erleuchteten Kreises, also GA$=\sqrt{(a^2+x^2)}$, ferner der Sinus des Emissionswinkels, unter welchem die Lichtstrahlen den Kreis G verlassen, $= \frac{a}{\sqrt{(a^2+x^2)}}$ und eben so grofs der Neigungswinkel der bei A auffallenden Strahlen. Die Intensität des Lichtes in G sey$=$J, die Gröfse der Kreisfläche $=\pi\varrho^2$, die aber als sehr klein angenommen wird, damit für alle Puncte der Emissionswinkel derselbe sey. Da für den ganzen Ring, dessen Halbmesser CA$=$x ist, die Umstände dieselben bleiben, und in jedem Puncte dieses Ringes die Erleuchtung $=$

Fig. 196.

1 Aehnliche Theoreme findet Lambert mehrere. §. 190. 196.

$$\pi \varrho^2 J . \frac{a^2}{a^2 + x^2} . \frac{1}{(a^2 + x^2)}, \text{ so ist}$$

die Erleuchtung für den ganzen Ring

$$= 2 \pi x d x . \pi . \varrho^2 J . \frac{a^2}{(a^2 + x^2)^2}, \text{ und}$$

die Ereuchtung für den ganzen Kreis AB

$$= C - \frac{\pi^2 \varrho^2 J . a^2}{a^2 + x^2} = \pi^2 \varrho^2 J \left(1 - \frac{a^2}{a^2 + x^2}\right)$$

weil die gesammte Erleuchtung mit $x = 0$ verschwindet.

Dieser Ausdruck giebt die ganze vom Kreise AB aufgefangene Lichtmenge an, die folglich, selbst wenn AB unendlich wird, nie gröſser als $= \pi . \pi \varrho^2 J$. seyn kann, so daſs die Ebene AB dann eine eben so groſse Lichtmenge empfängt als ein ganz nahe an G gerückter Punct bei der absoluten Erleuchtung erhalten würde.

13. Bisher haben wir bloſs die Erleuchtung der vom Lichte getroffenen Ebene so bestimmt, daſs wir die Lichtmenge, welche auf sie fiel, angaben, ohne zu fragen, ob diese Erleuchtung immer auf gleiche Weise unserm Auge bemerkbar werde. Dieses ist nun keineswegs der Fall, sondern wenn zwei aus verschiedenen Materien bestehende, oder ungleich gefärbte Ebenen demselben Lichte auf gleiche Weise ausgesetzt werden, so daſs sie unstreitig einerlei Grad der Erleuchtung empfangen, so nimmt unser Auge dennoch einen verschiedenen und oft ungemein ungleichen Eindruck wahr. Am auffallendsten ist diese Ungleichheit, wenn eine der erleuchteten Ebenen weiſs, die andere schwarz gefärbt ist, wo bekanntlich bei völlig gleicher Erleuchtung die eine unserm Auge einen starken Glanz darbietet, während die andere uns dunkel erscheint. Wir legen daher den Körpern ein verschiedenes Vermögen bei, das empfangene Licht zurückzuwerfen, und so lange wir nicht von farbig erscheinenden Flächen reden, sondern nur von denen, die mehr oder minder weiſs, oder grau und endlich schwarz erscheinen, zeigt sich uns diese ungleiche Menge des zurückgeworfenen Lichtes, als ein ungleicher Grad der *Weiſse* (*albedo*) der Körper oder vielmehr ihrer Oberflächen.

Die an sich dunkeln Körper, welche nicht nach Art der Spiegel die Lichtstrahlen reflectiren, sondern nur vermöge der empfangenen Erleuchtung uns sichtbar werden, können offen-

bar nun selbst als leuchtende, Licht aussendende Körper angesehen werden, und wenn wir in jedem Falle angeben könnten, welchen Theil des empfangenen Lichtes sie wieder aussenden, so würde uns das ein richtiges Maſs der Weiſse geben. Flächen, die vollkommen eben so viel Licht aussenden, als sie empfangen haben, würden vollkommen weiſs heiſsen, oder eine *vollkommene Weiſse* (*albedo absoluta*) besitzen; andere dagegen, die nur die Hälfte, nur $\frac{1}{10}$ u. s. w. der empfangenen Lichtstrahlen hergäben, würden nach Verhältniſs dieser Lichtmenge einen immer geringeren Grad von Weiſse haben; *vollkommen schwarze* Körper würden die seyn, welche gar kein Licht wieder aussendeten.

14. Um diesen Grad der Weiſse zu bestimmen, oder den Bruch = A zu finden, mit welchem die empfangene Lichtmenge multiplicirt werden muſs, damit man die wieder ausgesendete Lichtmenge erhalte, kann folgendes Experiment dienen[1]. Es sei in L ein Licht so aufgestellt, daſs es die Fläche gγ, deren Weiſse man bestimmen will, bei G senkrecht erleuchte. Man lasse das von der erleuchteten Fläche wieder ausströmende Licht auf die convexe Glaslinse A B fallen, und stelle diese so, daſs sie in φ f das Bild der erleuchteten Fläche γg darstelle, und in derselben Ebene werde nun auch der Punct D durch das Licht L senkrecht erleuchtet. Wählt man nun die Stellung des Lichtes L so, daſs die directe Erleuchtung bei D eben so hell erscheine, als die Erleuchtung in der Mitte des Bildes φ f, so läſst sich die Weiſse der Fläche G oder der Werth des Bruches A bestimmen.

Fig. 197.

Hierbei kommt es auf die Weiſse der Ebene F D nicht an, vorausgesetzt, daſs diese bei F und D gleich ist; denn wenn die anscheinende Erleuchtung gleich ist, so ist auch die wahre Erleuchtung oder die Menge der empfangenen Lichtstrahlen gleich, wofern in F und in D ein gleicher Antheil des empfangenen Lichtes zurückgeworfen wird.

Heiſst nun die Intensität des von L ausgehenden Lichtes = J, so ist der Grad der Erleuchtung in G durch $\frac{J}{LG^2}$ bestimmt oder die auf einen kleinen Kreis vom Halbmesser = ϱ auffal-

1 Lambert §. 739.

lende Lichtmenge $= \frac{\pi \varrho^2 . J}{LG^2}$; und eben so die bei D auffallende Lichtmenge $= \frac{\pi . \varrho^2 . J}{LD^2}$.

Man wird die Stellung des Lichtes L und der Ebenen G und D leicht so wählen können, daſs der Winkel, um welchen $g\gamma$ gegen FD und gegen die Ebene des Kreises AB geneigt ist, unbedeutend sey, und also der kleine Licht aussendende Kreis bei G als mit der Querschnittsfläche des Brennglases parallel können angesehen werden; ist dann $CG = a$, $CA = x$, so empfängt die Kreisfläche AB eine Lichtmenge $= \pi^2 . \varrho^2 . i . \left(1 - \frac{a^2}{a^2 + x^2}\right)$ wenn i die Intensität des von dem sehr kleinen Kreise G ausströmenden Lichtes ist (nach No. 12). Dieses Licht wird nun zwar nicht ganz unvermindert durch das Glas durchgehen, aber man kann aus andern Versuchen den Lichtverlust angeben[1], oder den Bruch μ finden, mit welchem man jene Lichtmenge multipliciren muſs, um die durchgelassene Lichtmenge $= \pi^2 \varrho^2 . i . \mu \left(1 - \frac{a^2}{a^2 + x^2}\right)$ zu erhalten. Diese Lichtmenge wird in F auf einen kreisförmigen Raum gesammelt, dessen Halbmesser $= z$ durch $\frac{z}{CF} = \frac{\varrho}{CG}$ gefunden wird, oder da CF : CG = Cotang. CFA : Contang. CGA,
durch $z = \varrho$ Tang. CGA. Cotang. CFA gegeben wird. Die gesammte Menge des auf diesem Kreise gesammelten Lichts $= \pi^2 \varrho^2 . i \mu$. Sin.^{2} CGA,
dividirt durch $\pi \varrho^2$. Tang.^{2} CGA. Cotang.^{2} CFA giebt also die mittlere Erleuchtung des Bildes in F

$= \pi . i \mu$. Cos.^{2} CGA. Tang.^{2} CFA,

oder weil Cos. CGA fast $= 1$ ist,

$= \pi . i . \mu$. Tang.^{2} CFA.

Der Werth von i oder die Intensität der erleuchtenden Kraft des Kreises G muſs hier noch bestimmt werden. Wir haben oben gesehen, daſs (No. 12) die gesammte Lichtmenge die von einer unendlich ausgedehnten Ebene aufgenommen wird $= \pi^2 \varrho^2 . i$ war, wenn des Kreises $\pi \varrho^2$ Licht an Intensität $= i$

1 Vergl. Art. *Durchsichtigkeit*.

war. Aber diese gesammte aufgefangene Lichtmenge ist gleich der gesammten vom Kreise $\pi\varrho^2$ ausstrahlenden Lichtmenge, die wir offenbar $=\frac{\pi\varrho^2 A.J}{LG^2}$ setzen müssen, wenn $\frac{\pi\varrho^2.J}{LG^2}$ die empfangene Lichtmenge ist und A der Bruch, welcher den zurückgegebenen Antheil bestimmt, also

$$\pi^2.\varrho^2.i=\frac{\pi.\varrho^2.A.J}{LG^2},$$

$$\text{oder } \pi.i=\frac{A.J}{LG^2},$$

und der Grad der Erleuchtung in der Mitte des Bildes bei F =

$$\frac{\mu.A.J.\text{Tang.}^2 CFA}{LG^2}.$$

Dieser Grad der Erleuchtung ist aber bei dem Versuche gleich dem Grade der directen Erleuchtung in D, $=\frac{J}{LD^2}$,

$$\text{folglich } A=\frac{LG^2.}{LD^2}.\frac{\text{Cotang.}^2 CFA}{\mu}$$

$$\text{oder } A=\frac{LG^2.CF^2}{\mu.LD^2.CA^2}.$$

15. Lambert führt mehrere Versuche an, wo in G weißes Papier von vorzüglich weißem Ansehen das Licht auffing; die dabei gebrauchte Glaslinse ließs $\frac{5}{6}=\mu$ der auffallenden Lichtstrahlen durch, und es war CA = 0,93 Zoll. Wurde nun der Versuch so angeordnet, daſs die Erleuchtung in F und D gleich erschien, so fand sich bei einem Versuche GL = 5, LD = 65, CF = 7,04, also A = 0,408; beide einem andern GL = 7, LD = 90, CF = 6,81, A = 0,389;
so daſs die Weiſse des schönsten Papiers kaum auf mehr als $A=\frac{2}{5}$ gesetzt werden konnte.

16. So wie hier die Weiſse des Papiers gemessen wird, eben so könnte man auch die Röthe eines mit rother Farbe bestrichenen Papiers u. s. w. bestimmen. Indeſs bleibt es da etwas zweifelhaft, was man von den untermischten weiſsen Strahlen halten soll, welche doch auch von den farbigen Körpern zurückgeworfen werden. Eigentlich sollte bei solchen Versuchen nicht bloſs die Fläche G so wie die Fläche DF roth bestrichen seyn, sondern das Licht L selbst sollte auch nur rothe Strahlen

geben, — was freilich schwer zu erreichen ist. Versuche hierüber hat LAMBERT angestellt [1].

Anwendungen dieser Lehren.

17. Viele Anwendungen dieser Untersuchungen erklären sich von selbst; ich will daher von der Erleuchtung irdischer Gegenstände nur zwei etwas mehr verwickelte Fragen erwähnen, und dann über die Erleuchtung der Himmelskörper noch etwas sagen. Die eine dieser Fragen ist in Beziehung auf belagerte Festungen von Kriegsverständigen aufgeworfen worden, die andere betrifft die Erleuchtung einer horizontalen Ebene bei der Dämmerung. Jene läſst sich so fassen: Wenn man in den Brennpunct eines parabolischen Brennspiegels ein Licht stellt, und dem Brennspiegel gegen über in bedeutender Entfernung eine zu erleuchtende Ebene aufstellt, wie groſs ist die Erleuchtung, welche sie empfängt? Oder umgekehrt: Man weiſs, daſs ein gewisser Grad von Erleuchtung nöthig ist; um in einer bestimmen Entfernung gewisse Gegenstände (z. B. vor der Festung die Arbeiten des Feindes) zu erkennen; wie groſs muſs der Brennspiegel seyn, durch den man eine solche Erleuchtung auf den Gegenstand werfen könnte? — Die Frage ist nicht so leicht zu beantworten, wenn man auf die Gröſse des Lichtes, welches nicht im wahren Brennpuncte vereinigt ist, Rücksicht nehmen will, aber das ganze zu beobachtende Verfahren läſst sich aus dem Vorigen übersehen.

18. Wenn man diejenige Dämmerung, die durch einmalige Zurückwerfung der Lichtstrahlen sichtbar wird, als durch einen Kreisbogen begrenzt ansieht, und diesem leuchtenden Segmente am Horizonte eine überall gleiche Helligkeit beilegt, so wird die Erleuchtung (Nr. 9.), wenn die Höhe des Dämmerungsbogens $= \alpha$ ist, durch $\pi - \pi$ Cos. α ausgedrückt, wenn der Dämmerungsbogen sich nicht mehr bis an das Zenith erstreckt. Da es hier bloſs auf verhältniſsmäſsige Erleuchtung ankommt, so kann man sie also kurz $= 1 -$ Cos. α setzen, und es erhellet hieraus, warum die Erleuchtung um die Zeit so schnell abnimmt, wann der Dämmerungsbogen durch das Zenith geht [2]. Uebrigens kann die ganze Rechnung nur oberflächlich seyn, da

---

1 Photom. §. 757.

2 Vergl. Art. *Dämmerung*.

weder der vermöge der Hauptdämmerung glänzende Himmel überall gleich leuchtend ist, noch auch das, was der übrige Theil des Himmels zur Erleuchtung beiträgt, hier berücksichtiget wird.

19. Auf diesen Lehren beruht ferner die Bestimmung der Lichtstärke derjenigen Himmelskörper, die von der Sonne erleuchtet werden.

Wenn ein Planet der Sonne nicht genau gegenüber steht, so sehen wir nicht seine ganze erleuchtete Seite, sondern eine mehr oder minder vom vollen Kreise abweichende Phase, und diesen Fall will ich hier sogleich auflösen, da in ihm der besondre Fall, wo der Planet der Sonne gegenüber steht, mit enthalten ist.

Fig. 198. Es sey ABFG die ganze erleuchtete Hälfte des Planeten, so daſs D den Punct vorstellt, welchem die Sonne im Zenith steht. CD sey der gegen diesen Punct, CE der gegen den Beobachter oder gegen die Erde gerichtete Halbmesser. FEDG stelle also den Kreis vor, dessen Ebene durch Erde, Sonne und den Mittelpunct des Planeten geht, auf welchem 90° von E entfernt die Grenze der von der Erde aus sichtbaren Halbkugel liegt. A, B, sind die Pole dieses Kreises, APMB, AqmB zwei unendlich nahe Kreise, für welche $FM = y$, $EM = y - a$ ist, indem $FE = a$. Wir wollen zuerst die beiden Parallelkreise lPQ, lpq ziehen und nach der Quantität des von der kleinen Fläche PpQq ausgesendeten Lichtes fragen. Dieser kleinen Fläche Dimensionen sind, wenn $AP = x$ heiſst, $pP = dx$ und $PQ = dy \text{ Sin.} x$, also der Inhalt $PQqp = dy\, dx. \text{ Sin.} x$. Aber die durch PQqp bewirkte Erleuchtung hängt ab von der scheinbaren Gröſse der Fläche und der Intensität des ausgesendeten Lichtes. Die erstere wird bestimmt, indem man die wahre Gröſse der Fläche mit dem Sinus des Neigungswinkels der Gesichtslinie gegen dieselbe multiplicirt; dieser Sinus ist $= \text{Cos.} EP$

$$= \text{Cos.} EM. \text{ Cos.} MP = \text{Sin.} x. \text{ Cos.} (y - a),$$

also die scheinbare Gröſse der Fläche PpqQ

$$= d^2 z = dx. \text{ Sin.}^2 x. (dy \text{ Cos.} y \text{ Cos.} a + dy \text{ Sin.} y. \text{ Sin.} a)$$

wenn man den Halbmesser des Planeten $= 1$ setzt, oder

$$= dx. \text{ Sin.}^2 x. \text{ Sin.}^2 \sigma \, (dy \text{ Cos.} y \text{ Cos.} a + dy \text{ Sin.} y. \text{ Sin.} a)$$

wenn man den scheinbaren Halbmesser $= \sigma$ setzt.

Die Intensität des von PQqp ausgesendeten Lichts ist erstlich dem Quadrate des Sinus des scheinbaren Halbmessers der von dort aus gesehenen Sonne, zweitens dem Sinus des Nei-

gungswinkels der auffallenden Sonnenstrahlen, (welcher = Cos. DP = Cos. DM. Cos. MP = Sin. y. Sin. x ist) drittens der Weiße (albedo) der Planeten = A, proportional, also = A. Sin. x. Sin. y. $Sin.^2$ s, wenn s der dortige scheinbare Halbmesser der Sonne ist. Der gesammte sich dem Auge darbietende Glanz jener kleinen Fläche ist also $= d^2 q$
$= A.\ Sin.^3 x.\ Sin.^2 s.\ Sin.^2 \sigma.\ Sin. y.\ dx.\ Cos. (y - a)\, dy$, und wenn man in Beziehung auf x so integrirt, daſs das Integral mit x zugleich verschwindet,

$$dq = A.\ Sin.^2 s.\ Sin.^2 \sigma \left(\frac{2}{3} - Cos. x + \frac{1}{3} Cos.^3 x\right) dy\ Sin. y\ Cos. (y - a),$$

oder bis x = 180° genommen, so daſs das Integral sich auf die ganze Fläche APBQ bezieht

$$dq = \frac{4}{3} A.\ Sin.^2 s.\ Sin.^2 \sigma. (dy.\ Sin. y\ Cos. y\ Cos. a + dy\ Sin.^2 y.\ Sin. a),$$

endlich in Beziehung auf y integrirt, und das Integral von y = 0 an gerechnet,

$$q = \frac{4}{3} A.\ Sin.^2 s.\ Sin.^2 \sigma \left(\frac{1}{2} Sin.^2 y.\ Cos. a + \frac{1}{2} y\ Sin. a - \frac{1}{2} Sin. y\ Cos. y\ Sin. a\right)$$

$$= \frac{2}{3} A.\ Sin.^2 s.\ Sin.^2 \sigma \left(y\ Sin. a + Sin. y.\ Sin. (y - a)\right),$$

dieses Integral vollständig, nämlich bis an die Grenze der sichtbaren Halbkugel, wo y — a = 90° ist, genommen, ist,

$$q = \frac{2}{3} A.\ Sin.^2 s.\ Sin.^2 \sigma \left(a\ Sin. a + \frac{1}{2} \pi\ Sin. a + Cos. a\right);$$

und damit wäre der gesammte Glanz des Planeten, so wie er dem Beobachter erscheint, ausgedrückt.

Der gesammte Glanz der Sonne würde nach eben den Regeln (Nr. 8)

$$= \pi.\ Sin.^2 S \text{ gefunden,}$$

wenn S ihr von der Erde gesehener scheinbarer Halbmesser ist.

20. Lambert wendet diese Rechnung auf den Mond an, und da für ihn nahe genug S = s ist, so wird erstlich des Vollmon des gesammter Glanz $= \frac{2}{3} A.\ Sin.^2 \sigma.$ wenn man $\pi\ Sin.^2 S = 1$ setzt, indem hier a = 90° ist.

Die Weiſse des Mondes kennen wir nicht, LAMBERT setzt sie $=\frac{1}{4}$, und darnach weil $\text{Sin.}\,\sigma = \text{Sin.}\,16' = 0{,}00465$ ist, der Glanz des Mondes $= 0{,}0000036$

$$= \frac{1}{277000}$$

des Glanzes der Sonne.

Zweitens. Wenn der Mond im Viertel ist, wäre $a = 0$[1]

$$q = \frac{2}{3}\frac{A\ \text{Sin.}^2\sigma}{\pi}$$

21. Eine ganz ähnliche Rechnung führt OLBERS, um das Verhältniſs des Glanzes eines Sternes erster Gröſse zum Glanze der Sonne zu finden[2]. Aldebaran und Mars erschienen gleich glänzend, zu einer Zeit als der vorige Ausdruck den gesammten Glanz des Mars $= \frac{1}{96665100000}$ in Vergleichung gegen den Glanz der Sonne gab, wenn man die Weiſse des Mars $= \frac{1}{7}$ annimmt. Die Sonne hat also etwa 100000 Millionen mal so groſse Lichtstärke als Aldebaran. Daraus läſst sich leicht folgern, daſs unsere Sonne so weit, daſs ihr scheinbarer Durchmesser nur $\frac{6}{1000}$ einer Secunde betrüge, hinausgerückt, oder daſs sie 311000 Halbmesser der Erdbahn von uns entfernt seyn müſste, wenn sie eben so schwach leuchtend erscheinen sollte als Aldebaran uns erscheint. Obgleich nun hierbei mehrere Elemente, namentlich die albedo des Mars ungewiſs sind, so ist doch dieses Resultat merkwürdig, weil es die ungemein groſse Entfernung bestätigt, die wir, auch wegen der Kleinheit der jährlichen Parallaxe, den Fixsternen beilegen.

Merkwürdig ist auch das aus andern Vergleichungen der Planeten mit gleich hell erscheinenden Fixsternen, von OLBERS hergeleitete Resultat, daſs Saturn und Uranus einen so hohen Grad von Weiſse $A = \frac{2}{5}$, fast der Weiſse des weiſsen Papiers gleich zu besitzen scheinen.

Auf ähnlichen Untersuchungen beruht die Beantwortung

1 Lambert. §. 1059.

2 von Zach Montl. Corresp. VIII. 297.

der Frage, wann der Planet Venus im gröfsten Glanze erscheint. *B.*

E r z.

Minera; Minéral; *Ore.* Hierunter versteht man 1. im weitesten Sinne alle Formen, in welchen die schweren Metalle natürlich vorkommen; 2. im engeren (wo sich *gediegen* Metall und *Erz* entgegengesetzt sind), alle natürlich vorkommende Verbindungen der schweren Metalle mit andern Stoffen, den *Verzungsmitteln,* wie Schwefel, Chlor, Sauerstoff und Säuren, durch welche sie in den sogenannten *verlarvten* oder *vererzten* Zustand übergegangen sind; 3. und im engsten endlich blofs die im Mineralreiche vorhandenen Schwefelmetalle. *G.*

E u d i o m e t e r.

Luftgütemesser, Oxygenometer, *Eudiometrum;* Eudiomètre; *Eudiometer.* Der Apparat, mittelst dessen das, in einem Gasgemenge enthaltene, Sauerstoffgas dem Mafse nach bestimmt wird. Es hat seinen Namen, *Eudiometer* (*εὔδιος*, heiter, warm, gut, von der Luft gebräuchlich, und *μέτρον*) von der ehemaligen irrigen Ansicht erhalten, als stehe die Heilsamkeit der Luft in einem geraden Verhältnisse mit ihrem Gehalte an Sauerstoffgas, so dafs durch Messung des Letztern auch ihre Güte bestimmt werden könne. Alle Materien, welche unter gewissen Umständen fähig sind aus einem Gasgemenge alles Sauerstoffgas aufzunehmen, und dasselbe in die feste oder tropfbar flüssige Form überzuführen und durch die entstandene Raumverminderung eine Messung des Sauerstoffgases möglich zu machen, eignen sich als *eudiometrische Mittel.* Vorzüglich bedient man sich jedoch derjenigen, bei denen die Bedingungen, unter welchen sie sämmtliches Sauerstoffgas aus dem Gasgemenge aufnehmen, leicht zu erfüllen sind, namentlich des Wasserstoffgases, des Phosphors, der hydrothionsauren Alkalien und des Salpetergases.

1. Volta's *Eudiometer.* Man fügt zu dem auf Sauerstoffgasgehalt zu prüfenden genau gemessenen Gasgemenge mehr Wasserstoffgas, als erforderlich ist, um allen Sauerstoff in Wasser zu verwandeln, mifst dann das Totalvolumen, und bewirkt die Vereinigung in einer starken Glasröhre, *der Verpuffungsröhre,* durch das Hindurchschlagen eines elektrischen Funkens.

Da sich hierbei 2 Maſs Wasserstoffgas mit 1 Maſs Sauerstoffgas zu Wasser verdichten, so beträgt das im Gase enthalten gewesene Sauerstoffgas genau $\frac{1}{3}$ von dem verschwundenen Luftraume.

Die Verpuffungsröhre ist entweder am obern Ende mit einem metallischen Knopfe verschlossen und man hat dann einen sich in eine Kugel endigenden Draht in die Röhre zu schieben, so daſs seine Kugel von der innern Fläche des Metallknopfes nicht sehr entfernt ist, so wird die der äuſsern Fläche des Knopfes mitgetheilte El. zur Kugel überspringen. Oder: Das obere Ende des Eudiometers ist auf die Weise verschlossen, wie eine Luftpistole, so daſs der dem Knopfe mitgetheilte elektrische Funke durch einen mittelst einer Glasröhre isolirten Draht bis aus Gasgemenge gelangt, und von hieraus zum äuſseren Metalle überschlägt. Oder: Es sind zwei, im Innern sich berührende Platindrähte in dem obern Theile der, übrigens zugeschmolzenen, Verpuffungsröhre luftdicht befestigt, und indem man mit dem Zeigefinger der einen Hand, welche die Röhre hält, das äuſsere Ende des einen Drahtes berührt, nähert man mit der andern einen elektrischen Körper dem äuſseren Theile des andern Drahtes. Diese Platindrähte sind entweder mit Siegellack in Löchern der Verpuffungsröhre befestigt, oder besser eingeschmolzen. Letzteres geschieht folgendermaſsen. Man richtet auf einen 0,5 Zoll vom Ende der Röhre entfernten Punct die Spitze der Löthrohrflamme, während ein Anderer in die Röhre bläſst, und dadurch den erweichten Theil des Glases zu einem Knopfe auftreibt, welcher bei weiterem Blasen platzt, oder mittelst eines Glasstäbchens in eine Spitze ausgezogen werden kann, welche man abbricht. In diese Oeffnung legt man ein kleines Stück vom feinsten im Handel vorkommenden Platindrahte, so daſs dieses zur Hälfte aus der Oeffnung herausragt. Dann schmelzt man sie vor der Glaslampe zu, und befördert durch oft wiederholtes in die Höhe Blasen dieser Stelle und nachheriges Einschmelzen die gleiche Vertheilung des Glases um den Draht herum, ohne welche beim Erkalten Risse entstehen würden. Auf dieselbe Weise schmelzt man entweder an der dem Drahte (in gleicher Höhe der Röhre) entgegengesetzten Stelle einen zweiten Draht ein, so daſs beide Drähte eine gerade Linie mit einander machen; oder im oberen Ende, so daſs beide Drähte einen rechten Winkel mit einander bilden.

Während dieses Schmelzens hat man beiden Drähten die gehörige Richtung und Entfernung zu ertheilen. Endlich kann der äufsere Theil derselben abgebrochen werden.

Die Verpuffungsröhre darf nicht zu eng seyn, sonst pflanzt sich wegen der abkühlenden Wirkung der Wände die Verbrennung besonders in dem Falle nicht durch die ganze Masse fort, wenn die Menge des Sauerstoffgases in dem Gasgemenge wenig beträgt. Je weiter sie dagegen ist, um so dicker müssen ihre Wandungen seyn, um das Zerspringen unmöglich zu machen, und da sie bei zu grofser Weite keine genaue Messung zuläfst, so müssen in diesem Falle die Messungen vor und nach dem Versuche mittelst einer andern graduirten Röhre vorgenommen werden, was ein zweimaliges Umfüllen des Gases und damit eine gröfsere Unsicherheit des Versuches veranlafst. Röhren von 0,5 Zoll im Durchmesser sind am angemessensten und dienen zugleich zum Verpuffen und zum Messen.

Hält ein Gasgemenge sehr wenig Sauerstoffgas z. B. unter 0,1, so verpufft es mit Wasserstoffgas nicht oder nur unvollständig, weil das fremdartige Gas vermöge seiner abkühlenden Wirkung die Fortpflanzung der durch den elektrischen Funken veranlafsten Verbrennung hindert. In diesem Falle mufs man demselben eine abgemessene Menge von Sauerstoffgas hinzufügen, dessen Reinheit man zuvor durch einen andern eudiometrischen Versuch bestimmt hat. Fügt man dann überschüssiges Wasserstoffgas hinzu und entzündet, so ist die Menge des im Gasgemenge enthaltenen Sauerstoffgases gleich $\frac{1}{3}$ des verschwundenen Gases, weniger dem reinen Sauerstoffgase, welches in dem zugefügten enthalten war.

Das anzuwendende Wasserstoffgas mufs frei von Sauerstoffgas seyn, weil man sonst zu viel Sauerstoffgas finden würde. Man bringt daher in ein kleines Fläschchen ein Zinkstück, füllt es fast ganz mit ausgekochtem Wasser, dann noch vollends mit Schwefelsäure, vereinigt es unter Wasser mit der zuvor mit Wasser gefüllten Gasentwickelungsröhre, und leitet das so nach dem Austreiben des Wassers aus dem letztern hervortretende Gas unmittelbar zu dem zu prüfenden Gasgemenge. Auch kann man solchem Wasserstoffgase, welches Sauerstoffgas enthält, dasselbe über Quecksilber durch Platinschwamm entziehen, welcher es bei längerem Einwirken in Wasser verwandelt. Was-

serstoffgas, welches Kohlenstoff enthält, bewirkt, daſs die Sauerstoffgasmenge zu geringe gefunden wird, weil ein Theil des Sauerstoffgases als kohlensaures Gas dem nach dem Verpuffen übrigen Gase beigemengt bleibt. Daher wird das aus Zink erhaltene Wasserstoffgas dem aus Eisen dargestellten vorgezogen; auch bleibt das Kohlige ganz oder gröſstentheils unverbrannt, wenn das Wasserstoffgas in einigem Ueberschuſs zugesetzt wird, so daſs auf 1 Maſs Sauerstoffgas gegen 3 Maſse Wasserstoffgas kommen.

Am besten ist es, die Verpuffung über Quecksilber vorzunehmen; verfährt man über Wasser, so ist Irrthum möglich. Denn man darf sich nicht des ausgekochten Wassers bedienen, welches einen Theil des Gasgemenges absorbiren und dadurch bewirken würde, daſs man zu viel Sauerstoffgas fände. Verpufft man über lufthaltigem Wasser in einer verschlossenen Röhre, so wird im ersten Augenblicke der Explosion zwar ein geringer Theil des Gasgemenges in das Wasser gedrückt; bei der darauf folgenden Abkühlung dagegen entwickeln sich, weil das übrige Gas bedeutend verdünnt ist, viele Luftblasen aus dem Wasser, um den entstandenen leeren Raum auszufüllen, ehe man Zeit hat, die Röhre unten zu öffnen, und man wird zu wenig Sauerstoffgas finden. Beim Verpuffen in einer unten offenen Röhre mag sich das zuerst hineingepreſste und dann wieder heraus tretende Gas der Menge nach eher das Gleichgewicht halten, und dieses Verfahren ist vorzuziehen, nur darf das Gasgemenge keinen zu groſsen Raum in der Röhre einnehmen, damit es bei der Verpuffung nicht zum Theil heraustrete. Manche ziehen es vor, die Röhre unten mit einem sich nach Innen offnenden Ventile zu versehen, so daſs im Augenblicke der Verpuffung kein Wasser heraustreten, aber bei der folgenden Abkühlung Wasser hineintreten kann, um den leer gewordenen Raum zu füllen. Hier kann jedoch im Momente der Explosion Gas ins Wasser gepreſst werden.

Das Volta'sche Eudiometer ist eines der sichersten; nur paſst es nicht wohl zur Untersuchung solcher Gasgemenge, welche neben Sauerstoffgas zugleich brennbare Gasarten enthalten.

2. Döbereiner's *Eudiometer.* Man leitet zu dem Sauerstoffgas haltenden Gasgemenge ebenfalls Wasserstoffgas in Ueberschuſs, veranlaſst jedoch die Verbindung des Wasserstoffes

mit dem Sauerstoffe nicht durch den elektrischen Funken, sondern durch *Platin*.

Man formt kleine Kugeln aus *Platinsalmiak* und wenig Thon, oder aus dem nach dem Glühen des Platinsalmiaks bleibenden schwammigen Platin, Salmiak und wenig ($\frac{1}{2}$ des Platins betragenden) Thon, und glüht sie hinaus. Läſst man eine solche, an das Ende eines Platindrahtes befestigte, Kugel in das mit Wasserstoffgas gemengte, durch Quecksilber gespannte, Sauerstoffgas haltende, Gasgemenge treten, so veranlaſst es allmälig die Wasserbildung, selbst wenn das Gasgemenge bloſs ein Procent Sauerstoffgas hält. Zeigt sich nach einer oder einigen Stunden keine weitere Abnahme des Gasvolumens, so zieht man die Platinkugel am Draht heraus, und berechnet das Sauerstoffgas wieder zu $\frac{1}{3}$ des Verschwundenen. Der während des Versuchs etwa veränderte Barometer- und Thermometerstand ist mit in Rechnung zu bringen. Dieselbe Platinkugel läſst sich vielmals zu demselben Zwecke anwenden, wenn sie jedesmal zuvor ausgeglüht wird.

3. Achard's, Berthollet's und Parrot's *Eudiometer.* Man bringt das zu untersuchende Gas mit Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur in Berührung, bis dessen langsame Verbrennung aufhört.

Man bringt das zu prüfende gemessene Gas in einen kleinen Kolben, oder in eine kurze weite Glasröhre und fügt hierzu eine Stange Phosphor, so daſs sie dem Gase möglichst viel Berührung darbietet. Enthält das Gasgemenge fast reines Sauerstoffgas, so erfolgt die langsame Verbrennung des Posphors nicht bei gewöhnlicher Temperatur, und da Erwärmung bald eine lebhafte Verbrennung herbeiführen würde, so hat man in diesem Falle eine bestimmte Menge reinen Stickgases hinzuzufügen, welches auf eine noch nicht genügend erklärte Weise die langsame Verbrennung bei niederer Temperatur einleitet. Man sperrt das Gas am besten mit Quecksilber, weil Wasser bei der längern Dauer des Versuchs Gas aufnehmen oder auch entwickeln könnte, jedoch hat man bei der Sperrung mit Quecksilber ein wenig Wasser hinzuzufügen, weil ohne dieses die gebildete Säure des Phosphors in fester Gestalt den übrigen Phosphor bedecken und so seine weitere Ver-

brennung hindern würde. Bemerkt man nach 6 bis 24 Stunden keine Nebenbildung mehr beim Lichte und kein Leuchten mehr im Dunkeln, so ist alles Sauerstoffgas absorbirt, und das übrige Gas kann zum Messen in die Mefsröhre übergeführt werden. Das Verschwundene ist das Sauerstoffgas. Da jedoch das übrige Gas, es sey Stickgas oder anderes, durch Aufnahme von Phosphordampf einige Ausdehnung erhalten hat, welche nach Berthollet's (noch genauer zu prüfender) Angabe beim Stickgas $\frac{1}{40}$ betragen soll, so hätte man vom zurückgebliebenen Gase noch $\frac{1}{41}$ als Sauerstoffgas zu betrachten. Auf jeden Fall ist bei der langen Dauer des Versuchs der etwa eingetretene Wechsel der Temperatur und des Luftdruckes zu berücksichtigen.

4. Seguin's *Eudiometer* beruht auf der Entziehung des Sauerstoffgases durch rasches Verbrennen des Phosphors.

Man füllt eine oben zugeschmolzene, kurze, weite, aus dünnem Glase verfertigte Röhre mit Quecksilber, stürzt sie über Quecksilber um, läfst ein Stückchen Phosphor hinaufsteigen, erhitzt dieses durch eine von aufsen daran gehaltene Kohle bis über den Schmelzpunct und läfst nun aus einem kleinen Kolben, in welchem sich eine abgemessene Menge des zu prüfenden Gases befindet, einzelne Blasen desselben in die Röhre steigen. Jede derselben wird Verbrennung des Phosphors bewirken, wenn man fortfährt, denselben von aufsen zu erhitzen. Die Feuerentwickelung ist jedoch bei diesem allmäligen Hinzulassen des Gases nicht bedeutend genug, um ein Zerspringen der Röhre zu veranlassen. Ist alles Gas hineingetreten und der Phosphor noch eine kurze Zeit erhitzt worden, so kann man sogleich den abgekühlten Gasrückstand in die Mefsröhre überführen.

5. Scheele's und de Marty's *Eudiometer*. Man entzieht das Sauerstoffgas durch Schütteln mit einer wässerigen Lösung eines hydrothionsauren oder hydrothionigsauren Alkalis. Hierbei tritt der Sauerstoff bekanntlich theils an den Wasserstoff der hydrothion- oder hydrothionigen Säure, theils an den Schwefel. Es wird entweder gewöhnliche Kalischwefelleber in Wasser gelöst, oder Schwefel mit gelöschtem Kalke und Wasser gekocht und filtrirt. Beide Auflösungen müssen

concentrirt und mit Stickgas gesättigt seyn, damit sie nicht auch dieses aus dem Gasgemenge absorbiren. Dieses findet statt, wenn man die Schwefelleber in der Kälte in lufthaltigem Wasser gelöset, oder wenn man die in der Hitze bereiteten Lösungen der Kali- oder Kalkverbindung längere Zeit mit Luft geschüttelt hat. Man leitet das in einer Röhre gemessene Gas in eine mit der Auflösung gefüllte Flasche, in welche bisweilen (nach der *Hope'schen* Art) die Mefsröhre eingeschmirgelt ist, so dafs es hierzu blofs des Zusammensteckens und Umkehrens bedarf, und schüttelt gegen $\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ Stunden lang, oder läfst in der Ruhe unter seltenerm Bewegen die Einwirkung 12 bis 24 Stunden lang dauern. Auf jeden Fall öffnet man jedoch das Gefäfs öfters bei nach unten gekehrter Oeffnung, unter Wasser, damit dieses eindringen und den durch die Absorption entstandenen leeren Raum ausfüllen könne, weil sonst die Schwefelleberauflösung Stickgas entwickeln würde. Die Volumensverminderung zeigt unmittelbar die Menge des verschluckten Sauerstoffgases an. — Dieses Eudiometer ist nebst dem *Volta'schen* und *Döbereiner'schen* das sicherste.

6. Fontana's *Eudiometer*. Man bestimmt die Menge des Sauerstoffgases durch die Volumensverminderung, welche das *Salpetergas* in dem Gasgemenge veranlafst.

Das Salpetergas hat das Bequeme, dafs es bei gewöhnlicher Temperatur augenblicklich allen Sauerstoff aus einem Gasgemenge aufnimmt und verdichtet. Daher ist es auch in früherer Zeit vorzugsweise als eudiometrisches Mittel gebraucht worden, bis man sich später von seiner Unsicherheit und Unbrauchbarkeit zu genauen Bestimmungen überzeugt hat. Denn es kann sich, je nach den Umständen, mit sehr verschiedenen Mengen von Sauerstoffgas verbinden, und es läfst sich deshalb nicht allgemein angeben, der wievielste Theil des verschwundenen Gasvolumens als Sauerstoffgas in Rechnung zu bringen ist. 200 Mafse Salpetergas nämlich verdichten sich mit 50 Mafsen Sauerstoffgas zu untersalpetriger, mit 100 zu salpetriger und mit 150, als dem Maximum des Sauerstoffs zu Salpetersäure. Im ersten Falle beträgt das Sauerstoffgas $\frac{1}{5}$, im zweiten $\frac{1}{3}$, im letzten $\frac{3}{7}$ des verschwundenen Gasvolumens. Bringt man in eine Röhre zuerst das Sauerstoffgas haltende Gemenge, darauf das Salpetergas, so mufs die Verbindung von Sauerstoff und Salpeter-

gas, welche sich an dem Orte der Berührung erzeugt, an den Wandungen der Röhre herabfliefsen und sich noch vollends mit Salpetergas beladen, also sich in salpetrige und untersalpetrige Säure verwandeln; kommt umgekehrt das sauerstoffhaltende Gemenge zuletzt in die Röhre, so fliefst die neue Verbindung in Berührung mit diesem herab, und verwandelt sich gröfstentheils in Salpetersäure. Auch das Wasser, welches bei einer grofsen Weite des Gefäfses und beim Schütteln stärker einwirkt, begünstigt die Bildung der Salpetersäure wegen seiner gröfsern Affinität zu derselben u. s. w. Es darf uns daher nicht Wunder nehmen, dafs man nach Scherer von dem verschwundenen Gase $\frac{1}{5}$ als Sauerstoffgas betrachten soll, nach Ingenhouss $\frac{10}{45}$, nach Gay-Lüssac, wofern man die Mischung in einem weiten Gefäfse vor sich gehen läfst, und nicht schüttelt, $\frac{1}{4}$, nach Humboldt $\frac{10}{36}$ nach Lavoisier $\frac{100}{272}$ bis $\frac{100}{383}$, nach Priestley $\frac{100}{279}$, nach Hildebrandt $\frac{1}{3}$ und nach Dalton $\frac{1000}{2714}$ bis $\frac{1000}{4428}$ und dafs mit Hülfe dieses Eudiometers ehedem so falsche Bestimmungen über den Sauerstoffgasgehalt der Luft gegeben worden sind.

7. Davy's *Eudiometer.* Man bestimmt die Raumabnahme, welche ein Gasgemenge beim Schütteln mit einer mit *Salpetergas gesättigten Eisenvitriollösung* erleidet.

Eisenvitriol, in Wasser gelöset, absorbirt eine grofse Menge von Salpetergas, die Auflösung erhält eine grünbraune Farbe und die Eigenschaft, das Sauerstoffgas schnell zu verschlucken. Man verfährt, wie beim Schwefellebereudiometer. Ehe man jedoch den Gasrückstand mifst, schüttelt man ihn noch mit einer Eisenvitriollösung, welche das Salpetergas absorbirt, welches etwa aus der ersten Lösung in das Gas übergetreten war. Die Raumverminderung kommt rein auf Rechnung des Sauerstoffgases. Die Menge desselben wird jedoch leicht zu klein gefunden, weil das vom Eisenvitriol absorbirte Salpetergas allmälig durch denselben zersetzt wird und Stickgas in das zu prüfende Gas austreten läfst. *G.*

Expansibilien.

Expansibele, ausdehnsame oder elastische Flüssigkeiten; *Fluida elastica;* Fluides aériformes, ou expansibles; *Expansible or elastic fluids;* könnte man diejenigen Flüssigkeiten nennen, welchen die Eigenschaft der *Expansion* oder *Expansibilität* zukommt, nämlich die Gasarten und Dämpfe. Weil aber diese Bezeichnung noch nicht übereinstimmend in der deutschen Sprache aufgenommen ist, die Eigenschaft aber, worauf sie sich gründet, den beiden letzteren Flüssigkeiten gemeinschaftlich zukommt, so ist es besser, sie ganz wegzulassen und demjenigen Sprachgebrauche ein bleibendes Ansehn zu verschaffen, welcher rücksichtlich dieser beiden Flüssigkeiten im Artikel *Dampf* in Vorschlag gebracht ist. *M.*

Expansion.

Expansibilität, permanente oder absolute Elasticität; *Expansio seu elasticitas;* Expansion; *Expansion;* bezeichnet theils den Zustand des Ausgedehntseyns der expansibelen oder sogenannten elastischen Flüssigkeiten, theils die diesen inwohnende eigenthümliche Kraft, oder vielmehr das Bestreben, sich gegen die Einwirkungen äufserer Zusammendrückungen in einen gröfseren Raum auszudehnen. Nach der im Art. *Elasticität* festgesetzten Bedeutung des Wortes können die expansibelen Flüssigkeiten nicht elastisch genannt werden, und auf gleiche Weise ist im Art. *Dampf* gezeigt, dafs der eigenthümliche Charakter der Expansibilität in demjenigen Umfange, wie ihn das bekannte *Mariotte'sche Gesetz* fordert, nach den bisherigen Versuchen blofs einigen Gasarten eigenthümlich zukommt. Indem aber die durch dieses Gesetz bezeichnete Eigenschaft der Expansion oder Expansibilität vorzugsweise zu den Eigenthümlichkeiten und in gewisser Hinsicht zum Wesen der Gasarten gehört, so ist es am besten, sie im Artikel *Gas* näher zu untersuchen. Fragt man endlich nach dem Unterschiede der Wortbedeutungen *Expansion* und *Expansibilität*, so ist derselbe zwar nicht genau fixirt, im Allgemeinen aber bedeutet das erstere mehr den bleibenden Zustand des Ausgedehntseyns, das letztere dagegen das Bestreben,

gegen die Einwirkung äufsererer Zusammendrückung stets einen gröfseren Raum einzunehmen, womit dann die Ausdrücke expandirt und expansibel übereinstimmen. Genau genommen sind diese Bedeutungen der Etymologie nicht völlig angemessen, vielmehr würde es hiernach am richtigsten seyn, dasjenige, was man bisher durch Expansion und Expansibilität ausdrückt, mit Elasticität, letztere Eigenschaft aber durch *Federkraft* zu bezeichnen. *M.*

Experiment. S. *Versuch.*

Experimentalphysik. S. *Naturlehre.*

(Ende des dritten Bandes.)